



Escuela  
Politécnica  
Superior

# APLICACIÓN ARQUITECTÓNICA DE LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL PARA LEVANTAMIENTO GRÁFICO Y FOTOGRAMÉTRICO DE FACHADAS EN PALACETE PRYTZ



Grado en Arquitectura Técnica

## Trabajo Fin de Grado

Autor:  
Carmen Santos Maestre

Tutor/es:  
Pablo Jeremías Juan Gutiérrez

Septiembre 2014



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
<b>4. ORGANIZACIÓN DEL PROCESO</b>	<b>6</b>
<b>5. PRINCIPIOS DE FOTOGRAMETRÍA</b>	<b>7</b>
<b>6. APLICACIONES EN EL CAMPO DE LA EDIFICACIÓN, CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO Y ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN EN GENERAL</b>	<b>9</b>
<b>7. HERRAMIENTAS DE LEVANTAMIENTO, HARDWARE Y SOFTWARE</b>	<b>13</b>
7.1. ÚTILES PARA TOMA DE DATOS	13
7.2. HARDWARE Y SOFTWARE DE TRATAMIENTO EN GABINETE	14
<b>8. EDIFICIO OBJETO DEL LEVANTAMIENTO</b>	<b>16</b>
<b>9. TOMA DE DATOS</b>	<b>18</b>
9.1. CALIBRACIÓN DE CÁMARA	23
9.2. CALIBRACIÓN EN PHOTOSCAN	24
9.3. CALIBRACIÓN EN PHOTOMODELER	28
<b>10. TRATAMIENTO Y GESTIÓN DE IMÁGENES</b>	<b>29</b>
10.1. OPTMIZACIÓN DE FOTOGRAFÍAS	30
10.2. INSERCIÓN DE IMÁGENES	31
10.3. COLOCACIÓN DE MARCADORES	32
10.4. CREACIÓN DE MÁSCARAS	33
10.5. ORIENTACIÓN DE CÁMARAS	37
10.6. INSERCIÓN DE TOMAS DE DETALLE Y PUNTOS CIEGOS	41
10.7. GENERACIÓN DE NUBE DE PUNTOS DENSA	44
10.8. GENERACIÓN DE MODELO	48
10.9. FUSIÓN DE GRUPOS	53
10.10. ALINEACIÓN DE MARCADORES, ORIENTACIÓN Y ESCALA, ERROR Y TOLERANCIA	55
<b>11. RESULTADOS</b>	<b>58</b>
11.1. ERRORES, PRECISIÓN DE LA RESTITUCIÓN	59
11.2. ORTOFOTOS	61
11.3. NUBE DE PUNTOS DENSA	63
11.4. MODELO TEXTURIZADO	64
<b>12. PROCESO DE DELINEACIÓN Y OBTENCIÓN DE DOCUMENTACIÓN GRÁFICA</b>	<b>65</b>
12.1. DELINEACIÓN DE PLANOS ALZADOS DE FACHADAS SOBRE ORTOFOTOS	66
12.2. DELINEACIÓN DE PLANTAS Y SECCIONES SOBRE NUBE DE PUNTOS	67
12.3. MODELO PARA PRESENTACIÓN	73
12.4. OTROS TIPOS DE POSIBILIDADES DE EXPORTACIÓN	74
12.5. REPRESENTACIÓN DE RESULTADOS, DOCUMENTACIÓN GRÁFICA OBTENIDA MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA Y COMPARACIÓN CON LA OBTENIDA POR MÉTODOS HABITUALES	75
<b>13. CONCLUSIONES</b>	<b>78</b>
13.1. LA FOTOGRAMETRÍA	78
13.2. EL PROCESO DE TRABAJO	78
13.3. LOS RESULTADOS Y LA PRECISIÓN DE LOS MISMOS	79



**ANEXO I PLANOS**

**ANEXO II MODELO TRIDIMENSIONAL**

**ANEXO III INFORME GENERADO EN PHOTOSCAN**

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los avances en la tecnología están constantemente evolucionando las técnicas utilizadas en todas las disciplinas a ritmos que difícilmente podemos seguir.

Las nuevas tecnologías basadas tanto en software como en hardware cada día hacen que las pequeñas tareas sean más rápidas y más precisas.

En el ámbito de la arquitectura y construcción muchos de estos avances están siendo aplicados para el desarrollo de la profesión por los técnicos en su día a día, tales como las cámaras termográficas, medidores de toda clase, estación total, etc., y en software una infinidad de los mismos (software propio de aparatos, programas BIM, de cálculo, etc.).

Dentro de la redacción de Proyectos arquitectónicos, se utilizan ya asiduamente entornos de software auxiliar para casi todas las partes del proyecto arquitectónico (Topografía, cálculo de estructuras, de instalaciones, mediciones, dibujo asistido, etc.).

Dentro de éste ámbito, resulta curioso que continúe siendo el proceso más "artesanal" el de toma de datos, no tanto para levantamiento de solares y para realización de obra nueva, dónde sí que predominan las herramientas de topografía digital, pero sí para el levantamiento del patrimonio arquitectónico existente necesario para toda clase de proyectos de derribo, reforma o simplemente para catalogación del mismo.

Los útiles de campo de los que nos servimos para estos levantamientos suelen ser papel, lápiz, cinta, flexómetro, distanciómetro láser (nos facilita enormemente el trabajo y es de gran ayuda, pero aún seguimos comprobando su veracidad con la cinta) y cámara fotográfica.

Esta última es que fundamentalmente nos apoya en la comprobación de nuestros esbozos en el papel y con la que, al menos quien suscribe, basa sus trazos al realizar levantamientos de edificaciones.

Podríamos decir que con fotografías y medidas tomadas sobre croquis realizamos todo el trabajo de levantamiento gráfico en proyectos que afecten al patrimonio existente.

¿Qué ocurriría si hubiese una herramienta que nos permitiese integrar estas dos informaciones?, y aquí es donde entra en juego la fotogrametría. Disponiendo de un equipo fotográfico estándar, encontramos esta disciplina que permite obtener la verdadera magnitud representada en las imágenes fotográficas a través del tratamiento matemático de sus distorsiones y nos permite medir y esbozar en distancias reales sobre la documentación gráfica obtenida mediante el tratamiento de las mismas.

La fotogrametría presenta grandes ventajas frente a las técnicas tradicionales de levantamiento. El tiempo de trabajo de campo es reducido, se obtienen grandes mediciones de forma indirecta y las facilidades en la ejecución del proceso de toma. Además, las fotografías permiten obtener planos precisos y aportan información visual de todo el conjunto.

La fotogrametría, que en principio fue desarrollada para grandes gestas científicas y militares (cómo muchas de las técnicas que empleamos en la actualidad en nuestra vida cotidiana) y que ha conseguido un importante auge gracias a la geografía, con el tiempo se ha ido adaptando a la pequeña escala y actualmente podemos conseguir un importante desarrollo de sus aplicaciones enfocadas al ámbito del patrimonio arquitectónico, una parte de la cual intentaremos plasmar en el tratado que prosigue a través del levantamiento de una edificación singular, un palacete recientemente rehabilitado con un volumen complejo situado en la población de San Juan de Alicante.

La edificación actualmente es propiedad de la Excm. Diputación de Alicante y está destinada al uso como centro de Atención a la Familia. Anteriormente conocida como "Casa Prytz", en honor a su propietario original actualmente se conoce como Instituto Dr. Pedro Herrero.



***Fig. 1.1 Estado actual del Palacete Prytz, actualmente sede del instituto Dr. Pedro Herrero y propiedad de la Excm. Diputación de Alicante.***

## 2. ANTECEDENTES

Actualmente la fotogrametría en su vertiente de la aerofotogrametría se utiliza ampliamente en sistemas de geografía y cartografía, y es la base con la que se generan los planos que hoy por hoy tanto utilizamos, ejemplos de ello son google maps, sigpac, terrasit, etc.



**Fig. 2.1 Ortofoto aérea del palacete obtenida en visor Terrasit, plataforma pública de territorio de la Generalitat valenciana. (<http://terrasit.gva.es/es/ver>)**

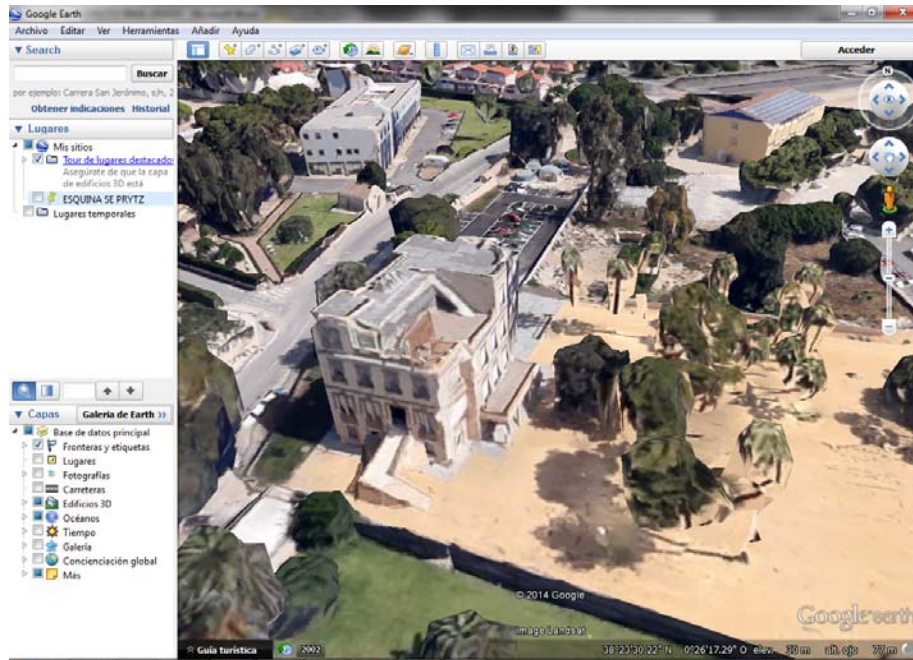
Sobre ellos podemos medir en verdadera magnitud, obteniendo medidas reales gracias a esta ciencia. El uso inicial de reconocimiento de terreno se está extendiendo ahora a su faceta terrestre, la de la llamada “fotogrametría terrestre” para el reconocimiento de formas y geometrías 3D sobre las que podemos medir también en verdadera magnitud, lo que nos proporciona una valiosa información sobre edificaciones y monumentos existentes.

Están surgiendo con ello diversas aplicaciones informáticas para uso doméstico que permiten generar modelos 3D a partir de una serie de fotografías tomadas con cámaras domésticas como pueden ser Photomodeler scanner, Photoscan, 4E, 123DCatch, etc... Lo más interesante de ellas es que permiten exportar éstos a sistemas geométricos para distintos usos, tratamientos 3D, ortofotos, impresiones 3D o presentaciones.

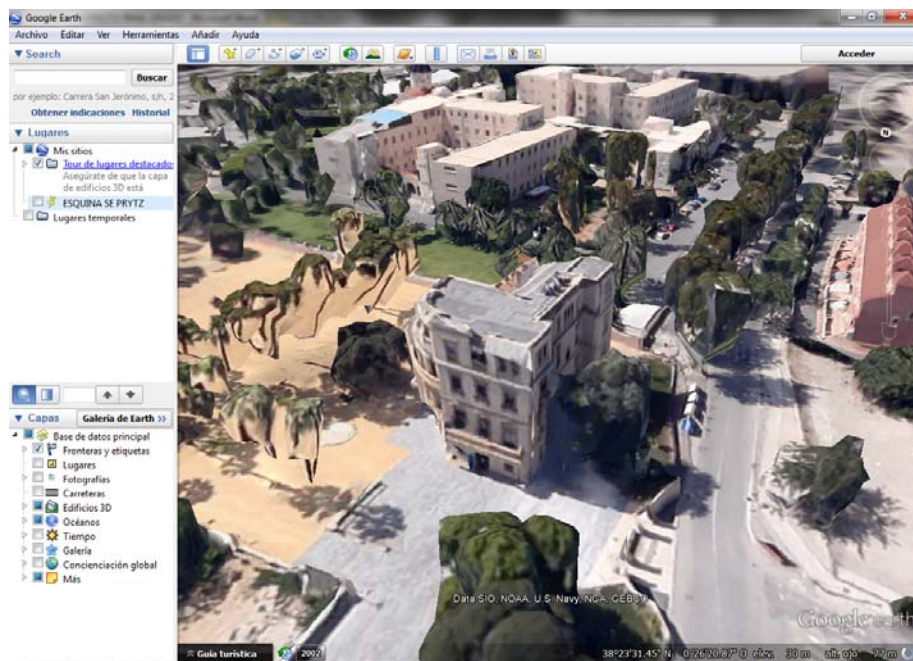
Los desarrolladores de estos programas siguen en constante evolución, lo cual hace que cada vez sean herramientas más potentes y necesiten de menos recursos previos para obtener unos resultados aceptables, se denota el gran avance entre cada una de las versiones de los distintos programas que hemos ido utilizando en la realización de este tratado.

Presentando la fotografía como una de las herramientas más extendidas entre todo el ámbito poblacional, se augura una interesante inclinación de la misma hacia su tratamiento a través de estos programas tanto para uso recreativo como para uso profesional.

Uno de los objetivos, pues, del presente trabajo será presentar una vía de aprovechamiento de uno de estos programas para la restitución 3D, y a través de él realizar el levantamiento gráfico mediante dibujo asistido por ordenador. Aplicando una alternativa al levantamiento gráfico habitual en proyectos de rehabilitación con las herramientas habituales de fotografía y programas CAD comparando los resultados obtenidos con uno y otro proceso.



**Fig. 2.2 Imagen actual de las vistas terrestres de Google Earth sobre la edificación, donde se aprecia la utilización de la fotogrametría a gran escala.**  
<https://www.google.es/maps/@38.3913404,-0.4388803,91a,35y,10.41h,38.94t/data=!3m1!1e3>  
 (maps google) elevado)



**Fig. 2.3 Fachada Norte obtenida en el software Google Earth**

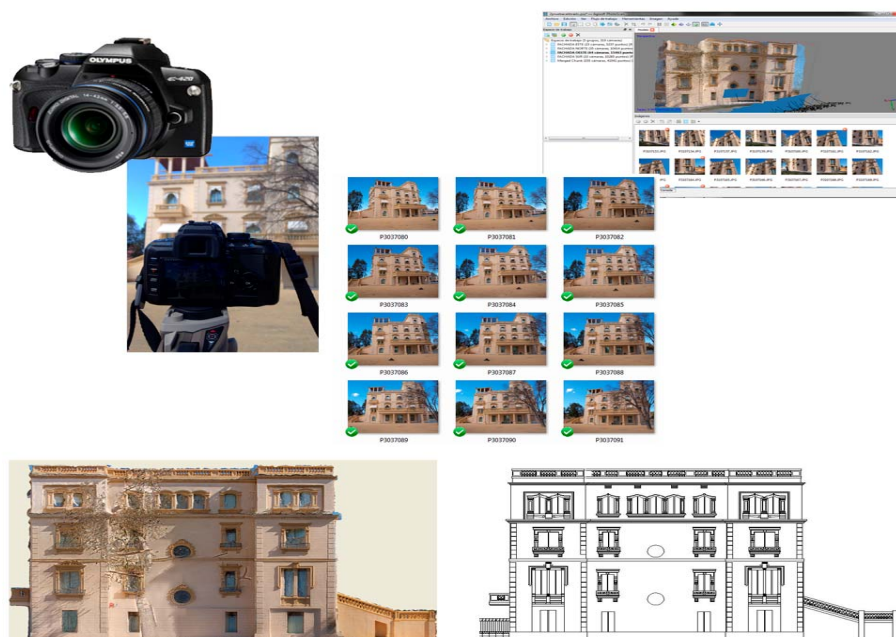


### 3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Con todo lo expuesto anteriormente vamos a intentar en este trabajo presentar la fotogrametría como una útil herramienta para el levantamiento y análisis del patrimonio edificado. Los objetivos del trabajo serán:

- Simplificar el proceso de toma de datos, analizando la utilización de útiles al alcance de cualquiera para realizar un levantamiento con unos errores aceptables para cada aplicación.
- Establecer una rutina de levantamiento arquitectónico con métodos informáticos y fotográficos, adaptando las nuevas tecnologías al proceso arquitectónico que permita facilitar el levantamiento gráfico de edificaciones existentes, optimizando el tiempo empleado en su realización y la precisión gráfica en circunstancias de difícil acceso a la toma de datos, especialmente en fachadas.
- Presentar como ejemplo el levantamiento de un edificio histórico de considerables dimensiones recientemente rehabilitado y analizar sus resultados por métodos convencionales y por fotogrametría.
- Obtener un modelo 3D del patrimonio edificado.
- Analizar las posibilidades de exportación para otros usos que nos brindan los programas de fotomodelado 3D.

Todo ello, intentando introducir y establecer nuevas técnicas en el proceso Arquitectónico.



**Fig. 3.1 Fases del proceso de restitución**

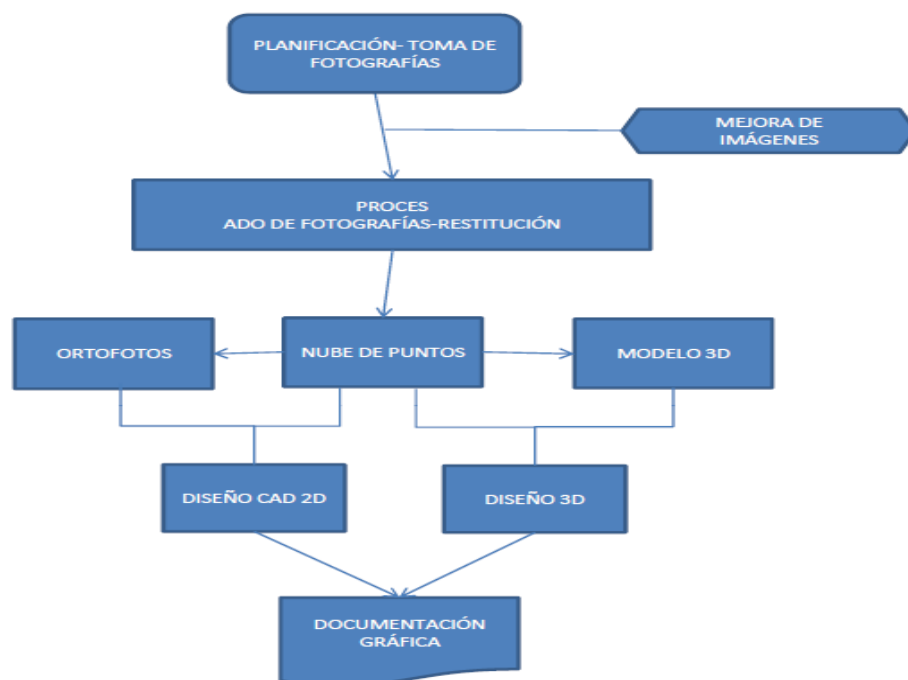
#### 4. ORGANIZACIÓN DEL PROCESO

Se han venido utilizando técnicas de levantamiento y restitución en tratados actuales, pero debido al avance tan rápido de las técnicas de tomas y tratamiento de imágenes, nos centraremos aquí en la consecución de un camino que nos lleve a conseguir un levantamiento aceptable, con errores no mayores que los que nos resultarían de realizar un levantamiento por métodos tradicionales que podrían ser del orden de los  $\pm 5$  cm.

Partiendo de una edificación situada en la Población de San Juan de Alicante y propiedad de la Excma. Diputación Provincial de Alicante como ejemplo del proceso, se han tomado una serie de fotografías con unos criterios previos y se va a proceder a su tratamiento, comparando sus resultados finales.

La toma de datos, en general, no se realiza en condiciones especiales, la visita para nuestra toma de fotografías general se realiza un día al azar sin tener en cuenta las condiciones atmosféricas y con los útiles que podemos acarrear en el día a día de nuestro trabajo como arquitectos técnicos para realizar levantamientos. Se han realizado, también, una serie de tomas, en concreto para una única fachada, en condiciones óptimas (día nublado y utilización de trípode), que hemos de haber planificado antes de la visita para analizar su influencia sobre los resultados finales.

El tratamiento de los resultados se realiza en gabinete, introduciendo datos en equipos informáticos y tratándolos hasta conseguir los resultados deseados, que se trasladaran finalmente sobre su plasmación en papel o en imágenes digitales. Las cuales volveremos a tratar con sistemas tradicionales o informáticos para la obtención de resultados útiles derivados del proceso de modelización y ortofotogrametría.



*fig. 4.1: Flujo de trabajo de metodología para el levantamiento realizado.*

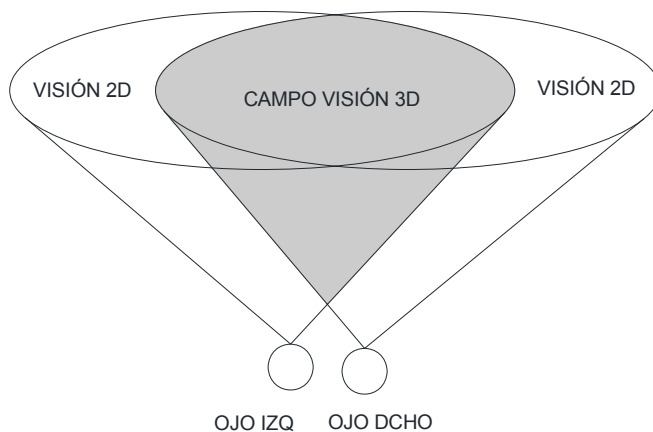
## 5. PRINCIPIOS DE FOTOGRAMETRÍA

Según su etimología la palabra fotogrametría deriva de las palabras *foto-* (del griego *φωτο-*, luz, *-grama* (Del gr. *γράμμα*, letra, escrito) y *-metría* (Del gr. *-μετρία*, medida)<sup>1</sup>, por lo que podríamos resumir de una forma simple la misma como la técnica de plasmar la realidad proporcionada y a escala mediante imágenes.

No es nuestro objetivo describir el método fotogramétrico, no obstante intentaremos exponer brevemente su principio de funcionamiento en su rama utilizada en este trabajo, la fotogrametría estereoscópica terrestre.

La visión estereoscópica es ni más ni menos lo que hoy conocemos como 3D. Se refiere a cualquier técnica de grabación de la información visual tridimensional o a la creación de la ilusión de profundidad en una imagen. La ilusión de profundidad en una fotografía, película, u otra imagen bidimensional son creadas presentando una imagen ligeramente diferente a cada ojo. Muchas demostraciones de 3D usan este método de transportar imágenes. El estereoscopio, es decir, el aparato que presenta la doble imagen que se mezcla en nuestro cerebro como una sola imagen estereoscópica, fue inventado por Charles Wheatstone en 1840.

La fotografía tradicional estereoscópica consiste en crear una ilusión de 3D que comienza de un par de imágenes de 2D. El modo más fácil de crear la percepción de profundidad en el cerebro es de proporcionar a los ojos del espectador dos imágenes diferentes, representando dos perspectivas del mismo objeto, con una desviación menor a las perspectivas que ambos ojos naturalmente reciben en la visión binocular.



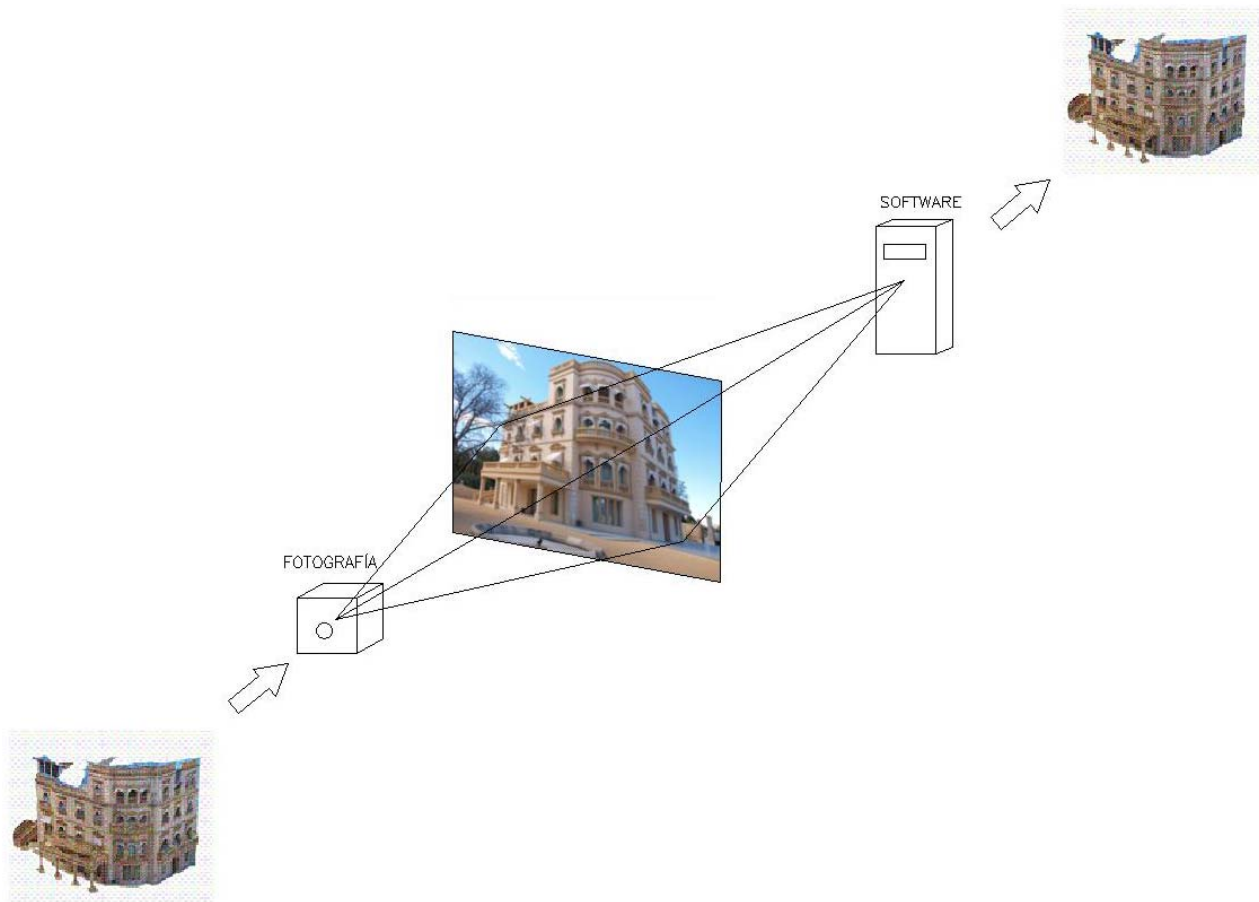
**Fig. 5.1 Principio de visión binocular (autoría propia)**

La técnica fotográfica en realidad es capaz de plasmar objetos 3D en 2 dimensiones, lo que conseguimos con la fotogrametría es revertir el proceso y obtenerla información gráfica y analítica de objetos 3D plasmados en fotografías que funcionan como vehículo.

<sup>1</sup> Fuente: Diccionario de la Real academia de la lengua española 22ª Edición.



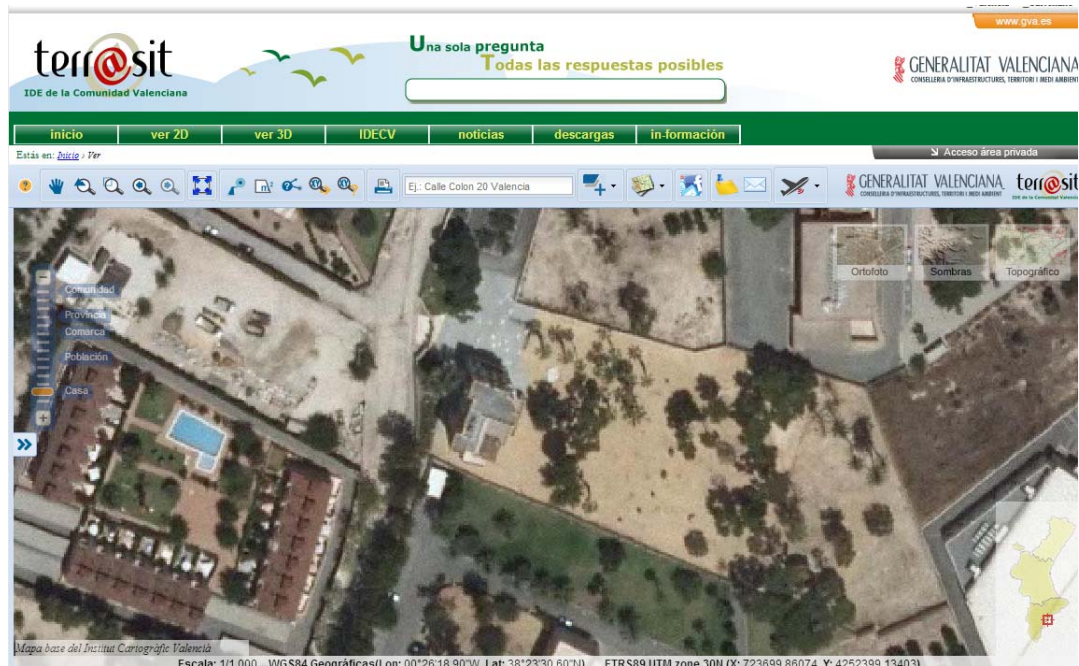
Lo que consigue la fotogrametría estereoscópica es mediante una fotografía desde al menos dos perspectivas distintas y a través de un "cerebro" como el software informático, regenerar el modelo 3D original.



***Fig. 5.2 Al igual que la fotografía plasma en un plano objetos tridimensionales, la fotogrametría es capaz de realizar el proceso contrario invirtiendo las proyecciones cónicas.***

## 6. APLICACIONES EN EL CAMPO DE LA EDIFICACIÓN, CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO Y ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN EN GENERAL

La fotogrametría nos permite obtener información acerca de los objetos físicos a través del proceso de grabación, medición e interpretación de las imágenes fotográficas y su principal característica es que consigue generación de datos exactos en tres dimensiones y dibujos precisos, lo que la convierte en una herramienta ideal para el estudio y valoración de los edificios y monumentos.



**Fig. 6.1** Ortofotografías del palacete obtenidas por el instituto cartográfico Valenciano a esc. 1/1000



**Fig. 6.2** Ortofotografías del palacete obtenidas por el instituto cartográfico Valenciano a esc. 1/2500

Aunque la mayor parte de un proyecto de fotogrametría se lleva a cabo en una oficina, el procedimiento comienza tomando las fotografías adecuadas, y el establecimiento de una red de "control" para determinar la escala y la orientación de las fotografías y permitir el análisis fotogramétrico exacto, tomando una serie de medidas in situ y conociendo la orientación deseada de algunos puntos estratégicos. El tiempo empleado en la toma de fotografías representa sólo una pequeña parte de un proyecto y, en general se completa en un día o dos, incluso en grandes edificios o los de naturaleza compleja.

Actualmente, gracias al perfeccionamiento de software, se pueden conseguir con cámaras no profesionales y al menos tres puntos de control, unos resultados lo suficientemente precisos para su aplicación profesional en trabajos de levantamiento y arquitectónicos. Y este hecho es el que convierte a la fotogrametría en un campo extremadamente útil en el campo de la representación y análisis arquitectónico.



***Fig. 6.3 Restitución de fachada obtenida mediante técnicas de fotogrametría***

El producto final habitual de un levantamiento fotogramétrico es la producción de cualquiera de los datos digitales o analógicos, o un dibujo de líneas. El análisis fotogramétrico consistirá en la colocación de al menos dos fotografías estereoscópicas y a través de nuestro programa informático de restitución realizar ciertos procedimientos que permitirán un modelo real. Este proceso digitaliza puntos detallados del objeto los cuales una vez orientados y escalados pueden ser utilizados posteriormente para ser visualizados en 3 dimensiones a través del visor del propio software y nos proporciona líneas, puntos y todas sus derivaciones geométricas en verdadera magnitud, para poder formatearlos y exportarlos a otros programas según nuestras necesidades postreras.

Otra ventaja es que como el proceso requiere la fotografía, éste puede convertirse, dependiendo de nuestros objetivos, en el producto final en sí, ya sea archivado en bruto o como un montaje rectificado (corrigiendo la distorsión de la lente fotográfica) compuesto por una serie de fotografías escaladas unidas entre sí, o un interesante resultado o producto final alternativo a los datos, como un rectificado de distorsión o una ortofotografía.

En ambos de estos casos, restitución geométrica y ortofotografías, en la fotografía inicial se corrige la distorsión de la lente, se reescala y se da salida como un archivo digital. La ortofotografía es una herramienta muy adecuada para restituir elementos o elevaciones con un número de diferentes planos en un solo plano formado por proyecciones pasando de la proyección cónica sobre el plano del cuadro a proyección cilíndrica ortogonal, que quedarán representados proporcionalmente en imágenes sobre las que podremos posteriormente medir verdaderas magnitudes en sus distintas escalas.

Cabe decir en este momento que la precisión alcanzable en un levantamiento fotogramétrico se vincula directamente a la accesibilidad del objeto fotografiado y la escala de las fotografías realizadas, como veremos más adelante durante la restitución de nuestro edificio. En las escalas aplicadas en levantamientos arquitectónicos podremos conseguir para una escala de 1:50 una precisión de  $\pm 1$  cm sin demasiados requerimientos.

Podríamos establecer como base en la mayoría de casos que para que el dibujo final o los datos sean precisos, la precisión debe ser de un ancho de línea en un dibujo de una escala comparable. Lo que nos resulta que para escalas 1:100 en la que utilizemos un ancho de línea de 0,2 mm tendríamos un error aceptable de 2 cm. Lo cual se adapta totalmente a nuestras pretensiones con este trabajo.

Mientras que la fotogrametría se está volviendo ampliamente utilizada en el campo de la arquitectura gracias a su precisión y a su relativamente bajo coste, precisando de únicamente una cámara fotográfica y un equipo informático (que pueden ser más o menos potentes y económicos), otras técnicas más complejas se están adaptando también. Por ejemplo el escaneo láser mediante estaciones de medición ofrece ahora una alternativa a la fotogrametría para trabajos de levantamiento, con un método mucho más preciso, pero también mucho más caro.

En definitiva, para cada caso y dependiendo de nuestros objetivos y disponibilidad de equipos, podremos utilizar otros métodos auxiliares, ya que la mejor solución en casos de necesidad de una precisión alta sería una combinación de ambos.

Combinación que no vamos a tratar aquí ya que el autor piensa e intenta aquí demostrar es que con un método sencillo se puede conseguir una solución más que aceptable para el levantamiento gráfico y registro de los monumentos y edificios históricos.

La ventaja del método que presentamos aquí obviamente es la sencillez y economía, y en caso de requerimientos poco exigentes la generación de miles de puntos de detalle en la "nube de puntos" podría ser incluso contraria a nuestros intereses.

Intentaremos demostrar que con un software informático de coste asequible, un equipo informático de rendimiento estándar y un equipo fotográfico no profesional llegaremos a un resultado que permite al usuario

llevar a cabo tareas cotidianas de restitución y medición siempre que no se requieran niveles mínimos de detalle.

Podemos pues enumerar las ventajas que aquí vamos a intentar aprovechar de la fotogrametría:

- a) Las fotografías pueden ser archivadas para su uso futuro y se pueden utilizar para la supervisión o para la generación de datos.
- b) Es una técnica no intrusiva.
- c) Se puede alcanzar un alto nivel de precisión.
- d) El uso de datos digital garantiza una total flexibilidad.
- e) La técnica es ideal para la grabación de detalles de naturaleza compleja.
- f) El nivel de detalle que se extrae se puede determinar previamente.
- g) Es rentable.



## 7. HERRAMIENTAS DE LEVANTAMIENTO, HARDWARE Y SOFTWARE

### 7.1. ÚTILES PARA TOMA DE DATOS

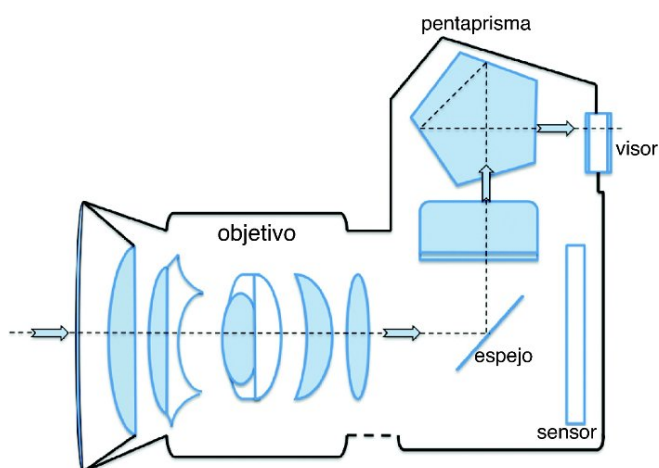
Para la toma de datos vamos a utilizar una cámara DSLR Olympus E-420 con una resolución de 10 MP y tamaño máximo de 3648 x 2736 pix con un objetivo 14-42 mm. 1:3.5-5.6.



Opciones	17,5 – 45 mm	14 – 42 mm	
Montura			Montaje FOUR
Distancia focal	17,5 – 45 mm	14 – 42 mm	
Abertura máx.	f3,5 – 5,6	f3,5 – 5,6	
Ángulo de la imagen	63° – 27°	75° – 29°	
Configuración del objetivo	7 grupos, 7 objetivos	8 grupos, 10 objetivos	
Control de diafragma	f3,5 – 22	f3,5 – 22	
Distancia de toma	0,28 m – ∞	0,25 m – ∞	
Ajuste de enfoque			Cambio A
Peso (excluyendo el parasol y la tapa)	210 g	190 g	
Medidas (Diámetro máximo x longitud global)	Ø 71 x 70 mm	Ø 65,5 x 61 mm	Ø
Montura de parasol de objetivo	—		Bayone
Diámetro de rosca de montura del filtro	52 mm		58 mm

*Fig. 7.1.1 Utilizamos una cámara Olympus E-420 con una lente 14-42 mm*

La cámara DSLR (Digital single lens réflex) son la evolución de las cámaras réflex analógicas en el mundo digital, son cámaras que reflejan mediante un espejo la imagen captada por el objetivo sobre el visor, lo que nos permite una visión exacta del encuadre a capturar y por otra parte nos permite una serie de ajustes y control sobre el objetivo, enfoque y distancia focal que no nos permiten las cámaras compactas.



*Fig. 7.1.2 Funcionamiento cámara Réflex. (Fuente: [www.actasdermo.org](http://www.actasdermo.org))*

## 7.2. HARDWARE Y SOFTWARE DE TRATAMIENTO EN GABINETE

El equipo informático que utilizaremos tendrá las siguientes características principales:

- Procesador Intel CORE i5 4570, 3,2 GHz DE CUATRO NÚCLEOS
- Memoria RAM 6 GB
- Tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GTX 640 DE 4 GB

Este equipo puede considerarse como de gama media, con unas buenas prestaciones y recién adquirido que en general nos permite trabajar con estructuras 3D de forma fluida.

Para realizar las restituciones a partir de fotografías necesitamos un vehículo, como sería para nosotros el cerebro que convierte nuestra visión en campo de profundidad o como la que permite plasmar mediante la cámara fotográfica el volumen en sobre un plano, este vehículo es un software informático.

Para la realización de estas restituciones tenemos la posibilidad de utilizar infinidad de software, y debido a la amplitud de posibilidades nunca podríamos afirmar con seguridad cuál sería la mejor elección. Probablemente lo más eficaz es tener un dominio general de la metodología y especializarse en alguno que sirva para nuestras pretensiones y se adapte a nuestras preferencias y, sobre todo, a nuestro “bolsillo”.

Encontramos software de fotogrametría dedicado como la gama Photoscan, Photomodeler, o 123 catch de Autodesk, que ejecutan una restitución tridimensional de puntos en base una serie de fotografías y que permiten exportar los datos para su uso en otras disciplinas.

Por otro lado y una vez restituidas la nubes de puntos podemos hacer uso de software más específico para tratamiento de elementos 3D como son MeshLab, rhinoceros, 3dstudio, etc. , programas de tratamiento de imágenes para tratar ortofotos, programas de dibujo asistido tanto en 3D como en 2D, como Autocad.

Tenemos a nuestra disposición, como hemos dicho anteriormente, infinidad de herramientas informáticas para realizar estos trabajos. Y su elección dependerá tanto del uso que vayamos a darle, como de las posibilidades de inversión y de su futura amortización.

No entraremos en un análisis extenso del tema, ya que no es el objeto de nuestro trabajo. Presentaremos en este caso el software con el que vamos a trabajar principalmente en nuestro levantamiento.

### PHOTOSCAN PROFESIONAL DE AGISOFT

Agisoft LLC en una compañía fundada en 2006 dedicada a la investigación y desarrolló soluciones de mapas y modelado automático 3Dbasadas en tecnologías de imagen digital.

Dentro de su gama de productos Photoscan es un software de reconstrucción 3D que construye automáticamente modelos tridimensionales texturizados usando fotografías digitales del modelo y que permite crear mallas con texturas de alta precisión.

La versión profesional tiene un coste actual de 3.500 \$, y sus características principales en su versión 1.1.0 son las posibilidades de obtener:

- Triangulación aérea y de corto alcance
- Generación de nube de puntos (escasa / densa)
- Generación de modelos poligonales (normal / texturizados)
- Configuración del sistema de coordenadas
- Generación del modelo Digital de Elevación (DEM)
- Generación de ortofotos
- Georreferenciación mediante registro y / o GCP vuelo
- Procesamiento de imágenes multiespectrales
- Reconstrucción 4D para escenas dinámicas

#### AUTOCAD 2014 DE AUTODESK

Es el software más utilizado en el campo CAD de la arquitectura, su aparición data de 1982, en su versión 1.0. Después de más de 20 versiones sigue implementado año a año, con cada versión, nuevas características y utilidades enfocadas al dibujo digital tridimensional.

Tiene numerosas versiones según el uso al que se vaya a destinar tanto para ingeniería civil, arquitectura, ingeniería industrial, topografía, etc. Su coste se establece en unos 1.200 € para su versión más básica (LT) de la que saltamos a los 5.00 en su versión para entornos 3D.

Dado su hándicap de coste diremos existe numerosos software de libre acceso para realizar dibujo asistido por ordenados, en nuestro caso y para este trabajo, utilizamos la versión Autocad 2014 con licencia de estudiante, que se puede obtener gracias al departamento de estudiantes de Autodesk y que permite utilizar prácticamente todo su software durante 3 años con ciertas limitaciones.

En nuestro caso vamos a utilizar este programa como lo hacemos habitualmente, para dibujo diédrico y confección de planos arquitectónicos, aunque también utilizaremos sus herramientas 3D para conseguir los mismos dibujando sobre las mallas poligonales y ortofotos generadas en Photomodeler.



## 8. EDIFICIO OBJETO DEL LEVANTAMIENTO

El objeto de nuestro levantamiento va a ser como hemos dicho un antiguo palacete ubicado en la localidad de San Juan de Alicante.

Se trata de un palacete del siglo XIX reconstruido alrededor del año 1930, por sus propietarios herederos, hijos del industrial de origen sueco afincado en Alicante Hugo Prytz y Carter, los Hermanos Carlos y Manuel Prytz, éste último donó la finca al Ayuntamiento de Alicante, que a su vez la cedió a la Diputación Provincial de Alicante en 1934 y que originaría lo que ahora es el conjunto Provincial de Salud mental, con la implantación en el de la Granja Psiquiátrica Provincial que funciona hasta la construcción en los años 50 del hospital Psiquiátrico anexo.

Los sistemas constructivos originales aparentemente son muros de carga de mampostería y estructura metálica en forjados con entrevigados de cerámica. La fachada original contaba con estucados de cal imitando sillería y motivos ornamentales prefabricados en hormigón.



***Fig. 8.1 Palacete antes de su rehabilitación en 2008***

En el año 2006 se presentó el "Proyecto de Rehabilitación de la Casa Prytz para centro de atención a la Familia", proyecto finalizado en 2010 con una reconstrucción completa del interior de edificio y una restauración de sus fachadas a cargo de los Arquitectos Rafael Pérez Jiménez del Equipo Técnico del Área de Arquitectura de la Excm. Diputación de Alicante y de Antonio Marí Mellado, autores del Proyecto de Rehabilitación.

Actualmente el edificio se encuentra en un estado totalmente reformado y en uso desde 2010 como Instituto de Atención a la Familia Dr. Pedro Herrero.

Geométricamente el edificio presenta una planta irregular, como podemos apreciar en los planos obtenidos del proyecto de rehabilitación, avances de balcones, una escalinata lateral hasta el primer piso y numerosos elementos ornamentales en balaustradas de balcones, recercados, etc. lo que convierte al edificio en un complejo volumen de formas arquitectónicas.



**Fig. 8.2 Vista y planos del interior del edificio obtenidos de ficha del Proyecto de Rehabilitación**

Geométricamente diremos que la planta tiene una superficie de unos 300 metros cuadrados y la altura de la edificación es de aproximadamente 17 metros repartidos en 4 plantas.

La superficie total de fachadas a generar es de unos 1.200 m<sup>2</sup> y su fachada más extensa cuenta con casi 400 m<sup>2</sup> de superficie, lo que unido a su particular geometría nos convierte esta restitución en un ambicioso proyecto.



**Fig. 8.3 Estado actual de fachadas del Palacete**

## 9. TOMA DE DATOS

Los expertos recomiendan una serie de parámetros a seguir para conseguir la mejor materia prima en la toma fotográfica para las posteriores restituciones fotogramétricas que podemos resumir en:

- Utilizar una cámara digital con una resolución bastante alta (5 Mpx o más).
- Las lentes de gran angular se adaptan mejor para la reconstrucción de las relaciones espaciales entre los objetos que los teleobjetivos.
- Evitar no objetos o escenas con textura y planos.
- Evitar los objetos brillantes y transparentes.
- Evitar los primeros planos no deseados y los objetos en movimiento tanto como sea posible.
- Disparar a los objetos brillantes bajo un cielo nublado.
- Tomar las fotografías de la escena con una gran cantidad de superposición.
- Capturar el contenido de la escena desde múltiples puntos de vista (3 o más).
- No recortar ni transformar geométricamente las imágenes.
- Un número mayor de fotos siempre nos da más posibilidades posteriores.
- Pasar algún tiempo para planificar la sesión de tomas puede ser muy útil.

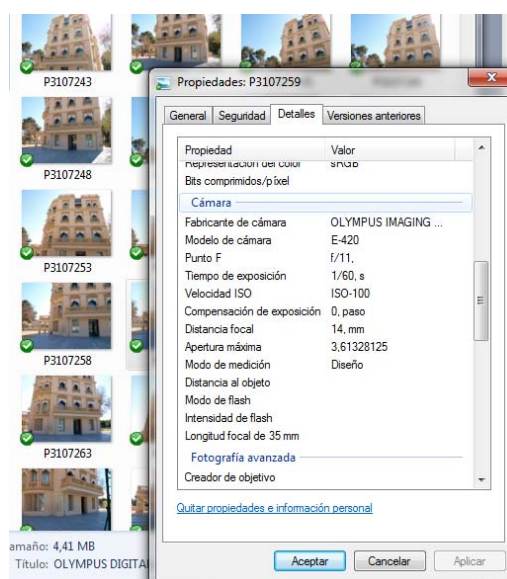
En nuestro caso, la toma de fotografías se ha realizado sobre trípode, con una exposición de f11, ISO 100 y una distancia focal de 14 mm. Todas las fotografías se toman en modo manual y enfoque fijo.

Las tomas se intentaron tomar en días nublados, lo que solo fue posible en las tomas de una de las fachadas (Este). Se realizaron en dos sesiones con un número de fotos tomadas de 169.

Como vemos en la figura 9.3, la fachada Este y Norte nos permitirán una mayor distancia exenta de vallado para realizar las fotografías, lo que nos permitió tomar fotografías de fachada completa en todos los casos.

Las fachadas Oeste y Sur se encontraban mucho más cerca del vallado perimetral, lo que nos obligaba a tomar las fotografías en dos tomas de la misma vertical para cada sector. Hecho que nos proporciona más cantidad de fotos a manejar pero que nos da una mayor resolución de imagen al ser obtenida desde más cerca pero nos da un gran inconveniente que es el ángulo tan cerrado con el que nos obliga a representar las partes superiores de las fachadas y que genera muchas más zonas ocultas.

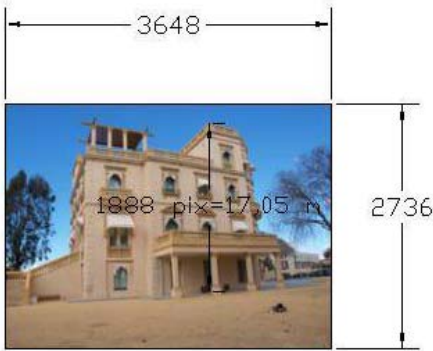



**metadatos**



**Fig. 9.1 Propiedades de las tomas en**

Podremos ver la comparación entre las distintas fachadas. Y que nos lleva a la conclusión de que es mejor un equilibrio siempre que sea posible entre el ángulo de la toma la cercanía, y no abusar del zoom óptico, ya que genera unas distorsiones mayores como veremos en el apartado de calibración.

Como podemos apreciar en el siguiente cuadro, para las fotografías más alejadas obtenemos una resolución de más de 9mm reales por píxel, mientras que en la más cercana la resolución asciende a más de la mitad con unos 4,2 mm reales por cada píxel. Lo que nos resulta en el peor de los casos a dimensiones de 1 cm por píxel, y teniendo en cuenta la magnitud del edificio lo podemos considerar suficiente para realizar este levantamiento.

	Distancia mayor 9, 00 mm representados en 1 píxel	Distancia menor 4,2 mm representados en un píxel
Mínima resolución menor representación		
Detalles por escala		

**Fig. 9.2 Detalle de resolución de fachada Este tomada desde una distancia aprox. de 15 m y de la Sur tomada a una distancia media de 5 m.**

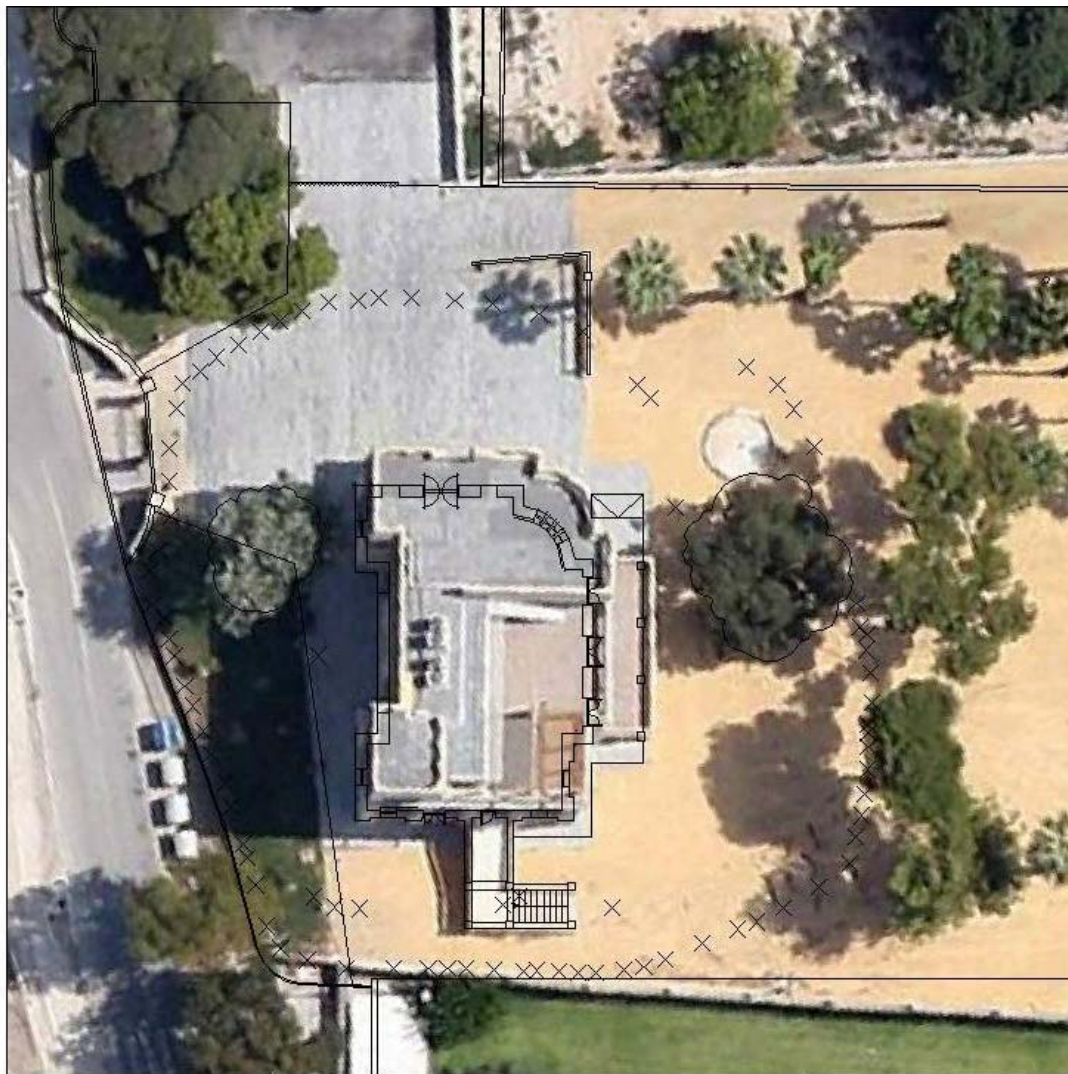
En casos de detalles deberíamos afinar más intentando conseguir una resolución de al menos 1 mm por píxel lo que no daría una superficie máxima para cada toma a la resolución máxima de nuestra cámara de 3,65 x



2,75 m. Todo esto en medidas orientativas, ya que no van a ser exactas en la restitución debido a su distorsión de la que hablaremos a continuación.

Reseñar también que todas las fotografías se han tomado en formato JPG de máxima resolución permitida para obtener mejor detalle (10 MP 3648x2736) y una tasa de compresión mínima posible (súper fina 1/2.7) para conseguir mayor claridad. No se han utilizado imágenes RAW, que podemos presentar como imágenes en bruto sin ajustes de color, nitidez, contraste o balance de blancos, ni compresión, por dos razones principales, una que no podemos introducirla en Photomodeler para realizar la restitución, deberíamos comprimirlas una a una y otra que no precisamos excesivo detalle en una restitución de esta escala.

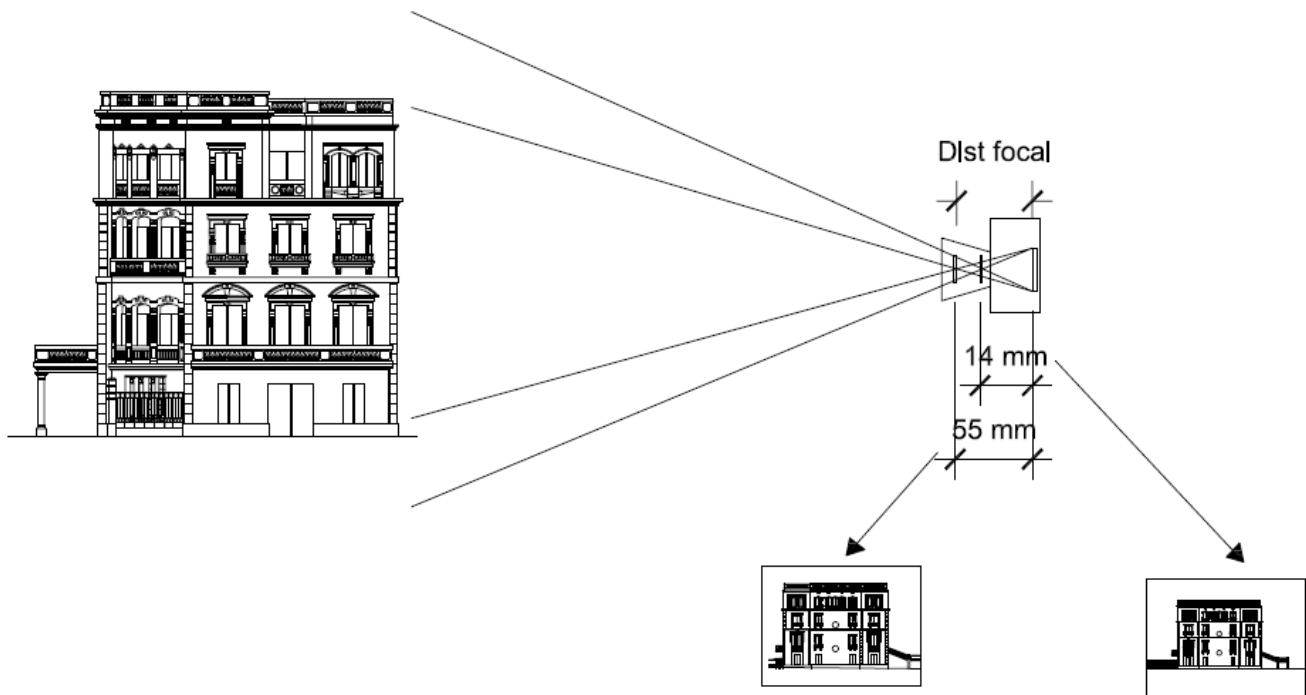
Hemos situado las cámaras según el siguiente esquema, dentro de las posibilidades que nos permite la parcela y que luego analizaremos en los resultados.



***Fig. 9.3 Esquema de posicionamiento de toma de fotografías, podemos apreciar las limitaciones de distancia de las fachadas Sur y Oeste y la posición de los obstáculos de jardín.***

Haremos una pequeña notación, de los parámetros utilizados en la realización nuestras fotografías.

Utilizamos una longitud focal fija de 14mm, la mínima de nuestro objetivo. La distancia focal es la distancia a la que se sitúa la lente del sensor. Ésta influye directamente en la proporción de los objetos fotografiados, y varía entre una distancia focal y otra para una misma distancia de toma como vemos gráficamente en el siguiente esquema.



**Fig. 9.4 Podemos ver como al modificar la distancia focal entre los 14 y 55 mm de nuestro objetivo, variaría el encuadre y la proporción de la figura sobre el sensor fijo de la cámara.**

Este hecho hace que sea imprescindible tomar todas las fotografías que vayamos a procesar conjuntamente con la misma distancia focal, ya que en el caso contrario la proporción sería distinta entre ellas. La longitud de referencia serían 50 mm reales (25 mm en nuestra cámara). En nuestro caso hemos optado por utilizar la mínima (14 mm equivalente a 28 mm reales) para que no haya variaciones por el funcionamiento manual del mismo. El resultado final no nos afectará ya que lo que buscamos es la proporción entre los volúmenes que después ajustaremos a la escala requerida. De forma sencilla podemos decir que la longitud de 14 mm, es el ancho que ocupa la toma en el sensor de captación. Los sensores digitales (tipo CMOS en nuestra cámara) pueden ser reales (full frame) o con un factor de recorte como es usual lo que significa que son más pequeños que los ópticos convencionales de las cámaras 35mm (24x36 mm) que es el ancho de "película" que proporciona el campo de visión más semejante al de la visión humana con una distancia focal de 50 mm. Este hecho hace que necesiten un factor de conversión con el que equiparar a una captura en formato idealizado. En el caso de nuestra cámara y según el fabricante, utilizaremos un factor de corrección de 2, ya que nuestro ancho de sensor real es de 17,3 mm.

El objetivo utilizado, un zuiko digital a 14 mm permite una abertura máxima de f3,5 y mínima de f22. La abertura del diafragma regula el ámbito de la entrada de luz permitida. Utilizamos una abertura fija también de f11, apertura media para que no se produzcan efectos de aberración cromática, distorsión o difracción que se producen en las aperturas de diafragma extremas.

Con estos parámetros necesitamos conseguir una profundidad de campo suficientemente amplia para que todos los objetos de las fachadas nos parezcan enfocados, lo que depende de 3 parámetros, la distancia focal, apertura del diafragma y distancia del plano enfocado.

Conseguimos una profundidad de campo desde 1m hasta  $\infty$  enfocando las fachadas a 10 m., lo que nos permite mantener el enfoque fijo.

Para que con estos parámetros nos recoja la imagen suficientemente iluminada mantenemos el tiempo de exposición en automático, aprovechando el automatismo de la propia cámara para su cálculo, que nos calcula una media de 1/ 80 seg. en día nublado y 1/320 seg. en días soleados. Aprovechamos también la opción que nos proporciona la cámara de ajustar manualmente la exposición procurando, cómo podemos ver en la figura 9.5, que el histograma quede lo más a la derecha posible sin "quemarse" (salirse por el margen derecho) para conseguir una sobreexposición adecuada y conseguir así luminosidad en la exposición.

La sensibilidad ISO que controla la sensibilidad del sensor a la luz la mantendremos al mínimo de 100 para que nos genere el mínimo "ruido" posible ya que las condiciones de iluminación son suficientes.



**Fig. 9.5 Histograma a la derecha en tomas**

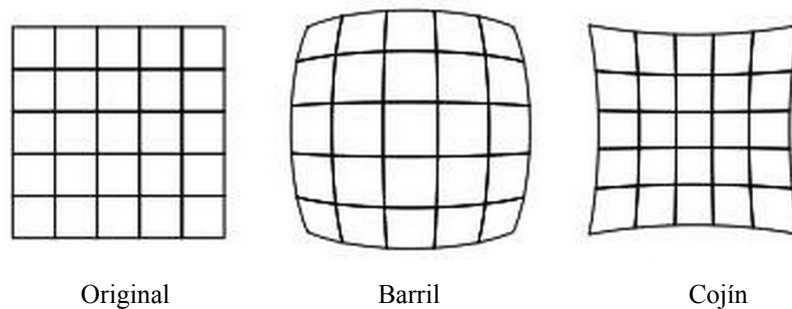
Una vez tenemos los parámetros claros y hemos procedido a la realización de la sesión fotográfica, tendremos las suficientes instantáneas y vamos a proceder a su volcado dentro del software Photoscan.

En este momento es en que nos encontramos que las características geométricas de los objetos en las fotografías no son reales y hay que especificar al software los parámetros que debe seguir para corregir estas diferencias. Las últimas versiones de Photoscan realizan estos ajustes casi automáticamente, no obstante vamos a explicar de qué se tratan y cómo podemos corregirlas.

Se trata el proceso de calibración de corregir las distorsiones producidas por la lente al capturar las imágenes. Las aberraciones geométricas más importantes a tener en cuenta son la distorsión radial y tangencial.

### 9.1. CALIBRACIÓN DE CÁMARA

La distorsión radial es producida por la curvatura de la lente en el paso por esta de los haces de luz, y es el desplazamiento que sufre un punto imagen de su posición ideal. Puede ser en barril o en cojín.



**Fig. 9.1.1 Tipos de distorsión radial**

La distorsión tangencial es perpendicular a la dirección radial del punto. Se debe a un montaje imperfecto de los elementos que componen la lente dentro de la geometría de la cámara en función de la posición del punto debido a la inclinación del plano de proyección de la imagen o sensor. Es mucho menor que la radial y no se suele tener en cuenta en trabajos que no requieren excelente precisión.

Ambas distorsiones se pueden corregir mediante formulas matemáticas que en estos casos realizan los mismos programas de restitución en base a estas fórmulas:

$$\Delta r = K_1 \times r^2 + K_2 \times r^4 + K_3 \times r^6$$

$$x \times \Delta p = P_1 \times (r^2 + 2 \times x^2) + 2 \times P_2 \times x \times y$$

$$y \times \Delta p = P_1 \times (r^2 + 2 \times y^2) + 2 \times P_2 \times x \times y$$

dónde:

$\Delta r$  = distorsión radial

$\Delta p$  = defecto de descentrado

$r$  = distancia radial al centro de la lente

$K$  = coeficientes de distorsión radial

Y calculando  $X_c$ ,  $Y_c$  = Posición correcta de  $X$ ,  $Y$

dónde:

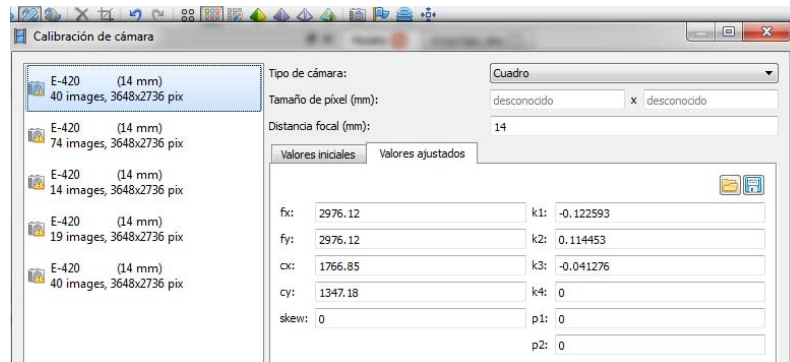
$$X_c = X + X \times \Delta r + X \times \Delta p$$

$$Y_c = Y + Y \times \Delta r + Y \times \Delta p$$



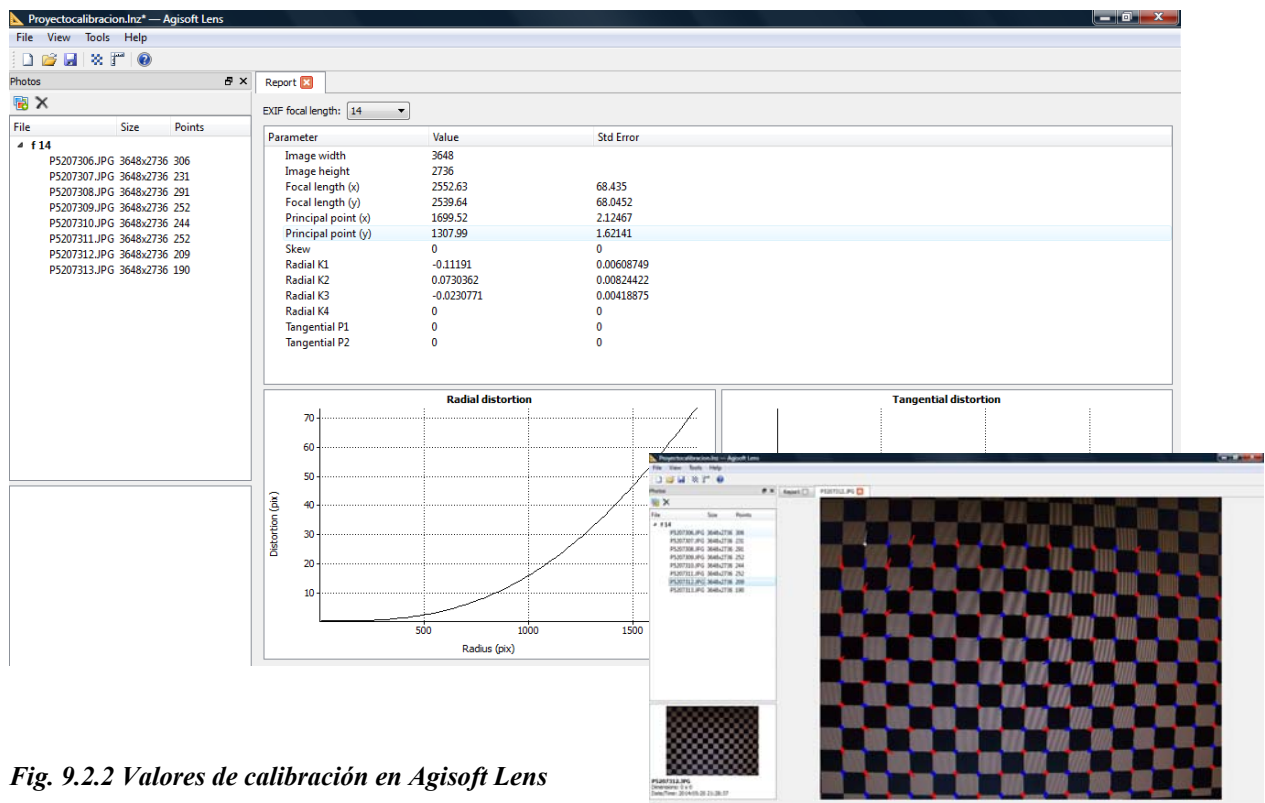
## 9.2. CALIBRACIÓN EN PHOTOSCAN

Hemos realizado la calibración de nuestra cámara y objetivo con el sistema directo que nos ofrece el programa Photoscan, corrigiendo las distorsiones a la vez que genera las nubes de puntos. Nos ha proporcionado los siguientes coeficientes.



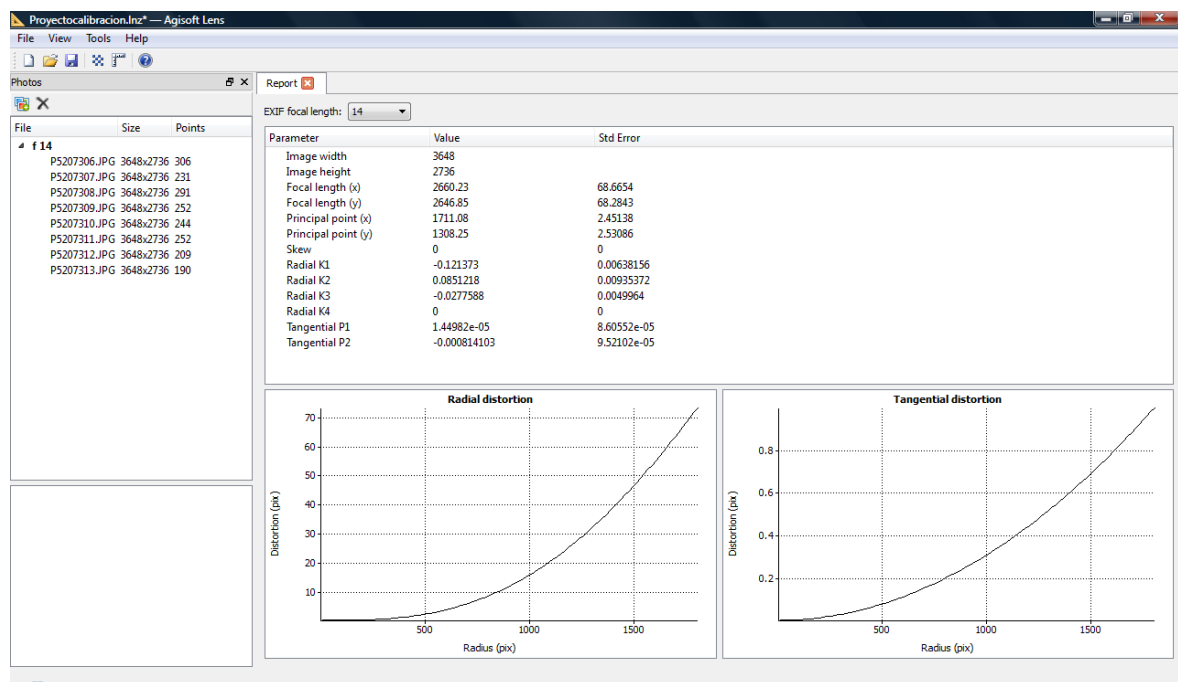
**Fig. 9.2.1 Valores de calibración obtenidos en Photoscan**

Para comparar dichos resultados con un modelo fiel, hemos realizado también una calibración con el programa específico que nos ofrece Agisoft, Agisoft lens, que a partir de una plantilla de puntos nos proporciona también los coeficientes de corrección que podremos exportar posteriormente a Photoscan de forma directa mediante un archivo .cal



**Fig. 9.2.2 Valores de calibración en Agisoft Lens**

Este método nos ha dado unos resultados similares a los básicos automáticos ajustados en Photoscan, con lo que ya poseemos dos resultados de distorsión que podemos comparar para tener una buena calibración.



**Fig. 9.2.3 Calibración para distorsión radial y tangencial en Agisoft Lens**

Para realizar la calibración durante la orientación de las fotografías, Photoscan estima los parámetros internos y externos de orientación de las cámaras, incluyendo la distorsión radial y tangencial.

Para el éxito de la estimación, como antes explicábamos, es crucial aplicar separadamente el proceso de estimación de fotos tomadas con cámaras o distancias focales diferentes.

Una vez cargadas las fotos en el programa, Photoscan automáticamente las divide en grupos de calibración acordes a la resolución de la imagen y los metadatos EXIF tales como tipo de cámara y longitud focal (ver fig. 9.1).

Creamos 4 grupos de calibración para ello, uno para cada fachada, ya que los trataremos separadamente, aunque después puedan ser reordenados manualmente. Y aplicaremos las acciones descritas a continuación a cada grupo de calibración individualmente.

Si los datos de origen en un grupo de calibración han sido tomados con una cámara con factor de recorte cuatro tercios como es nuestro caso, para una estimación exitosa de los parámetros de orientación de la cámara se necesita la información sobre la distancia focal aproximada (en píxeles). Obviamente, para el cálculo de valor de la longitud focal en píxeles es suficiente conocer la distancia focal en mm, junto con el tamaño del píxel en mm extraído del tamaño de la fotografía. Normalmente estos datos se extraen automáticamente de los metadatos EXIF.

En el caso de imágenes carezcan de datos EXIF o los datos EXIF sean insuficientes para calcular la distancia focal en píxeles, Photoscan asumirá que la distancia focal es igual a 50 mm (equivalente al negativo 35 mm). Sin embargo, si los valores supuestos inicialmente difieren significativamente de la longitud focal real, es probable que no se realice correctamente el proceso de alineación. Así, si las fotos no contienen metadatos, es preferible especificar la longitud focal (mm) y tamaño de píxel del sensor (mm) manualmente.

Se puede hacer en el cuadro de diálogo Calibración de la cámara disponible en el menú Herramientas. En general, estos datos se indican en las especificaciones de la cámara. Para indicar al programa que los parámetros de orientación de la cámara deben ser estimados en base a la distancia focal y la información de tamaño de píxel, es necesario establecer el parámetro tipo en la ficha inicial a valor *Automático*.

En las lentes extra anchas, si se utilizan para obtener los datos de origen, la información de la longitud y tamaño de píxel focal puede dejar de ser suficiente para estimar los parámetros de orientación de la cámara con éxito. Una vez que se ha tratado de ejecutar el procedimiento de estimación y nos da resultados pobres, se puede mejorar gracias a los datos adicionales sobre los parámetros de calibración.

Para especificar los parámetros extras en la herramienta de calibración se vuelven a estimar los parámetros de orientación seleccionando en el cuadro de diálogo el modo “inicial” y modificando los parámetros de calibración y cambian el tipo a valor de precalibrado.

Los parámetros pueden también ser importados desde un archivo usando la herramienta de importación aceptando formatos de Australians, Photomodeler, 3DM CalibCam y CalCam.

Los datos de calibración iniciales serán ajustados durante el proceso de orientación de fotos. Una vez el proceso de alineación de fotos ha concluido los datos se podrán comprobar y serán mostrados en la pestaña de ajustados del cuadro de dialogo de la cámara.

Si necesitamos una calibración muy precisa, para protegerla del recálculo podemos marcar el cuadro *fixar*. En este caso los datos de calibración inicial no varían durante el proceso de orientación de las fotografías.

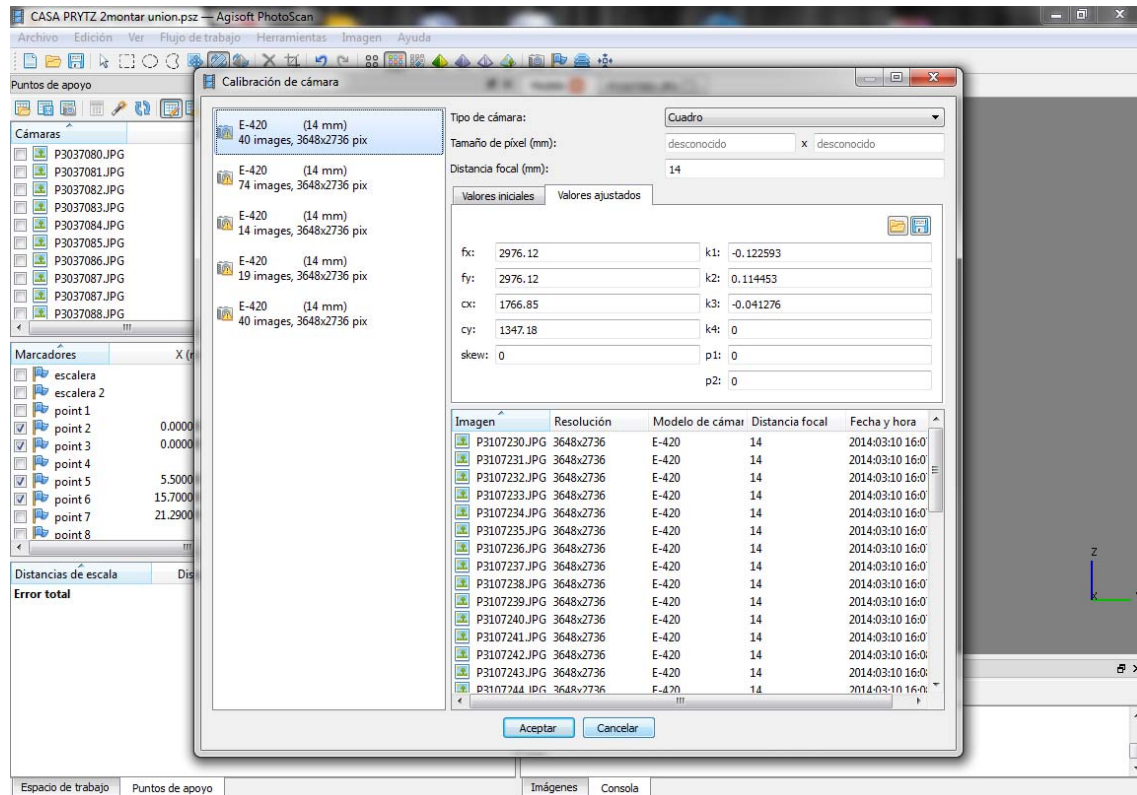
Estos datos se pueden guardar e importar para futuros usos.

Por defecto Photoscan considera los parámetros de calibración de cámara especificados como la estimación inicial, y los refina más tarde durante la orientación de las cámaras. Esto es generalmente el funcionamiento ideal. Sin embargo, en los casos en que los parámetros de calibración de la cámara se conozcan con precisión (como en el caso de una cámara métrica<sup>2</sup>), puede ser necesario proteger los parámetros de calibración de la cámara para la optimización. Para fijar los parámetros de calibración de la cámara, seleccionamos la casilla de verificación de calibración *Fix* en la ficha inicial del cuadro de diálogo Calibración de la cámara.

---

<sup>2</sup> Cámara fotográfica en la que sus características ópticas geométricas, y por lo tanto sus distorsiones, son conocidas a la perfección.

El proceso que hemos seguido ha sido primero comprobar que nos ha detectado correctamente los parámetros de la cámara, y después de la orientación hemos comprobado las correcciones realizadas. Inicialmente no detecta la anchura de pixel de cámara, lo que realiza en sus cálculos internos.



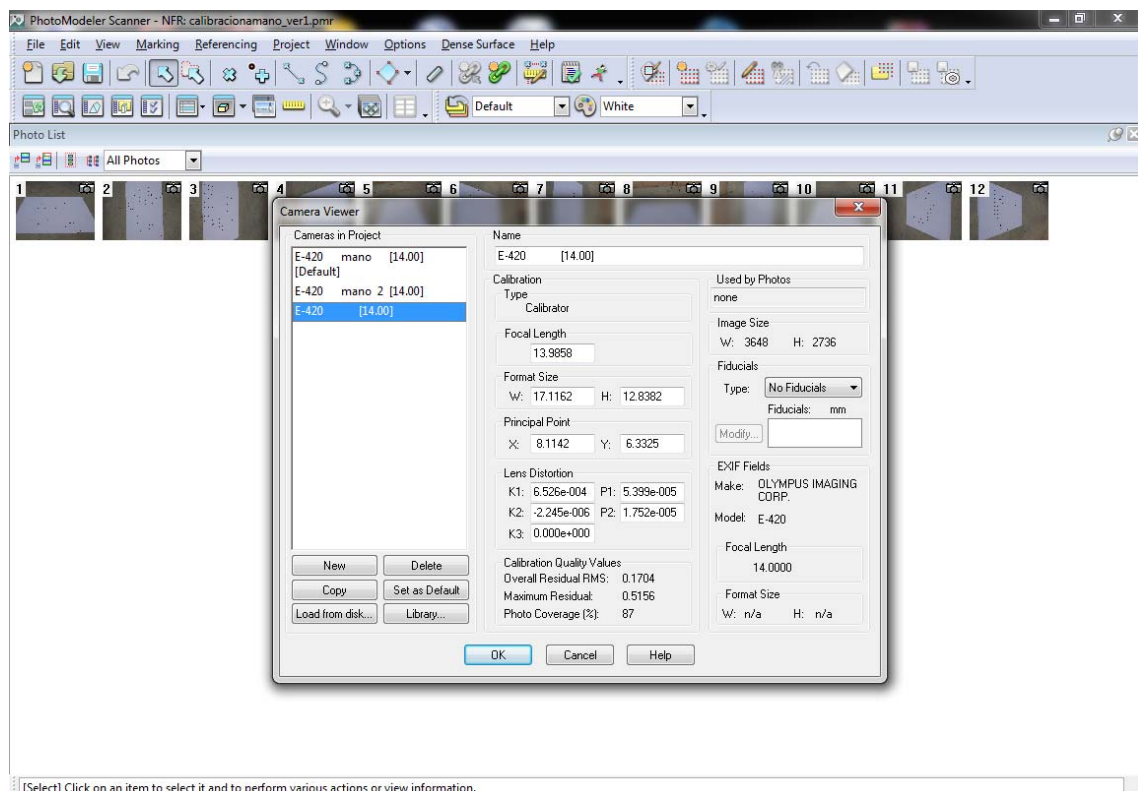
**Fig. 9.2.4 Calibración automática Photoscan**

### 9.3. CALIBRACIÓN EN PHOTOMODELER

Hemos realizado también la calibración de nuestra cámara mediante otro sistema que nos proporciona otro programa de restitución, el Photomodeler Scanner.

Para ello hemos capturado una serie de doce de fotografías de una plantilla de calibración en DIN A0 (usando el formato mayor posible, por la dimensión de los elementos arquitectónicos que vamos a tratar), y utilizando los mismos parámetros con los que hemos tomado las fotografías de nuestra edificación. Procedemos también al volcado de fotografías en el programa con el objetivo de calibrar la cámara y obtener los valores de la distorsión radial (K1, K2 y K3) y la distorsión tangencial (P1 y P2).

Las meta en Photomodeler Scanner para calibrar, nos da los resultados en mm, mientras que Photoscan nos la da en píxeles



**Fig. 9.3.1 Proceso de calibración mediante software Photomodeler Scanner**

Según algunos estudios, la calibración en este software (Photomodeler scanner) es la más precisa en este tipo de trabajos. De ella resultan unos parámetros de calibración de la lente sobre los que deberíamos proceder a su “adaptación” para utilizarlos en nuestro software Photoscan, para ello importaremos los parámetros proporcionados por Photomodeler a la herramienta de Agisoft Lens y, en ella, homogeneizar resultados.

En este caso hemos decidido no utilizar los parámetros de calibración externos y utilizar la calibración nativa del programa Photoscan para no incurrir en errores, siempre que nos conduzca a unos resultados correctos como es nuestro caso.

## 10. TRATAMIENTO Y GESTIÓN DE IMÁGENES

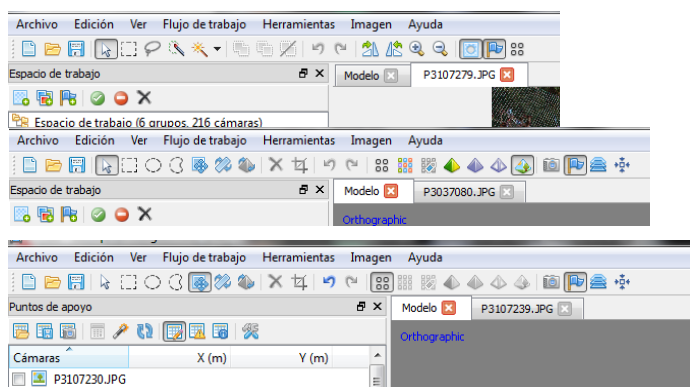
Para el tratamiento de la información que nos van a aportar las fotografías vamos a utilizar el Programa Photoscan Professional. Como presentábamos anteriormente se trata de un software de restitución fotográfica de modelos que nos aporta numerosa información para el posterior tratamiento de ésta.

Los formatos en los que podemos introducir la información son JPEG, TIFF, PNG, BMP, JPEG o MPO (Multi-Picture Format).

Es un programa muy intuitivo con tres paquetes de herramientas principales, el panel de imágenes, en el que insertamos y procedemos al tratamiento de las imágenes que nos servirán para el procesado.

En el panel de espacio de trabajo podemos ver el grueso de cada grupo con el que estamos trabajando, en menús despegables resultados de fotografías (Cámaras), máscaras, puntos de apoyo, nubes de puntos, modelos, etc.)

Por otro lado tenemos la barra de herramientas para tratamiento de cámaras, desde la que podemos modificar, enmascarar y colocar puntos de control en las 'cámaras'. Y la barra de herramientas de modelo, desde la que podemos borrar elementos de las nubes de puntos y mallas, así como orientar y visualizar el modelo generado.



**Fig. 10.1 Barras de herramientas en la interfaz del Software**

Presentamos a continuación los pasos seguidos para realizar la restitución del modelo.



### 10.1. OPTIMIZACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

Comenzamos seleccionando imágenes, lo primero que necesitamos es determinar la calidad de las imágenes que vamos a utilizar, dependiendo del uso de la restitución que necesitemos del edificio objeto, necesitaremos más o menos resolución. Estas imágenes se han tomado con una resolución alta (10 Mpx) que, aún así, no nos proporcionará un detalle nítido de las fachadas, más allá de la escala a la que se haya tomado la fotografía como podemos apreciar en la fig. 10.1.1 en la que apreciamos la pérdida de resolución de la balaustrada de los balcones al hacer un zoom sobre la misma.



*Fig. 10.1.1*

También deberemos fijarnos en la homogeneidad, se han tomado dos tandas de fotografía, una en día nublado y otra en día soleado. Podemos ver la diferencia de generación de sombras en una y otra fotografía (Fig. 10.1.2 y 10.1.3).



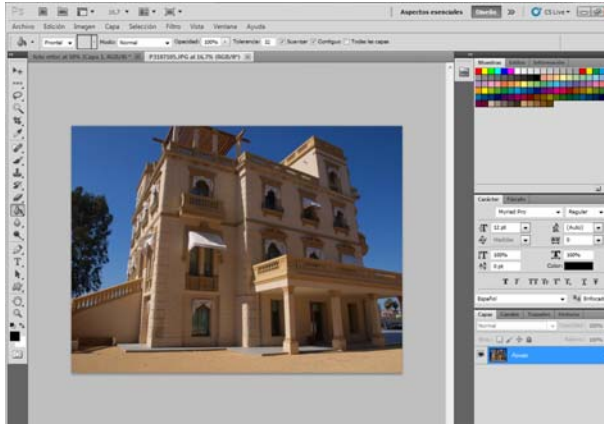
*Fig. 10.1.2 Toma en día soleado*



*Fig. 10.1.3 Toma en día nublado*

Podremos en medida retocar mediante programas de edición de imágenes las fotografías, para conseguir mayor nitidez o contraste y ajustar parámetros de imagen en el formato que nos permita su edición, (aquí es donde puede sernos útil el haber realizado las fotografías en formato RAW) y editar la imagen para intentar igualar tono, reducir sombras, etc....

Podemos ver en el siguiente ejemplo una imagen tomada en días soleados que producen multitud de sombras en nuestra fachada (Fig. 10.1.4) y lo que podríamos conseguir mediante su edición digital (Fig. 10.1.5).



**Fig. 10.1.4**



**Fig. 10.1.5**

Nuestro principal objetivo es en este trabajo conseguir la geometría necesaria para el levantamiento gráfico del edificio y no modelo perfecto 3D. Y en nuestro caso no vamos a realizar ajustes sobre las imágenes, por lo que podremos analizar posteriormente su influencia sobre los resultados finales.

Como norma general para un levantamiento arquitectónico no vamos invertir tiempo en mejorar las fotografías a no ser que necesitemos un excelente resultado en la textura final.

## **10.2. INSERCIÓN DE IMÁGENES**

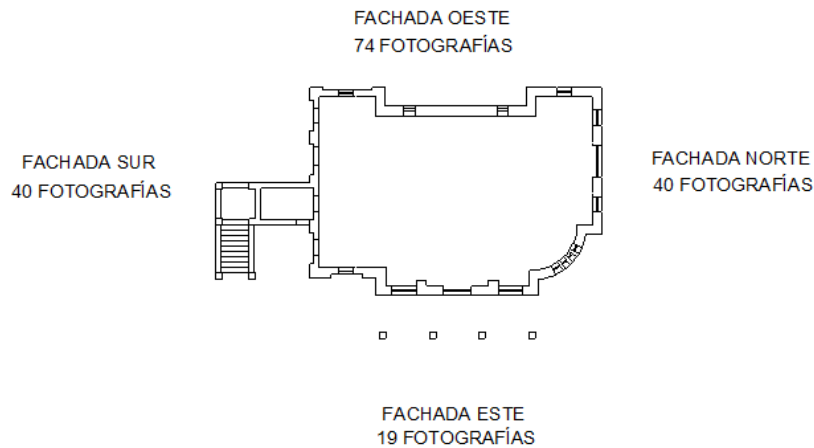
Una vez tenemos nuestros datos preparados comenzamos el procesamiento de imágenes. El primer paso va a ser cargar nuestras imágenes en el programa Photoscan y comprobar los parámetros de orientación de cámara como hemos explicado en el apartado anterior.

El proceso a seguir debido a la magnitud de las fachadas va a ser el hacer restituciones por fachadas separadas.

Para lo que vamos a crear cuatro grupos de trabajo e introducir en cada uno de ellos las fotos correspondientes a sus fachadas y detalles. Cabe decir, como supondrá el lector, que algunas fotografías se encontrarán en varios grupos al compartir varias fachadas en prácticamente todas las imágenes, y hecho este que es la base de este sistema de restitución que se basa en la detección de unos mismos puntos compartidos en varias imágenes.



La fachada curva situada entre la norte y la este la vamos a procesar como parte de las mismas, ya que no nos va a ser posible obtener datos cuantificable en alzados, debiendo recurrir a la planta como veremos más adelante.



**Fig. 10.2.1 Esquema de fotografías utilizadas para cada fachada**

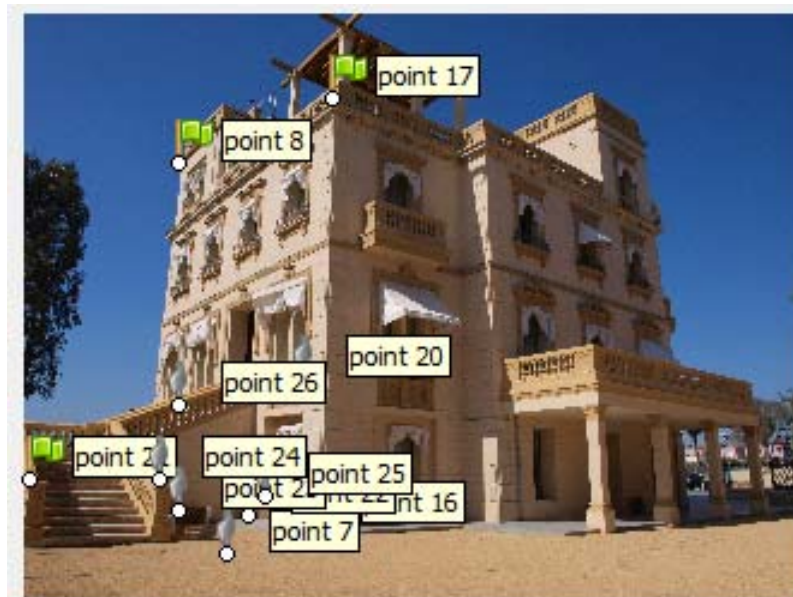
Observamos que todas las fachadas tienen una cantidad de tomas equivalente, mientras que la fachada Este tiene un número de tomas muy reducido. Esto se debe a que ésta fachada se ha tomado en distintas circunstancias, más distancias por lo que no ha sido necesario duplicar pares para abarcar toda la altura de fachada y mejores condiciones de iluminación, también siguiendo un patrón de más distancia entre fotografías y con un salto intermedio debido a un obstáculo como ha sido un ejemplar de arbolado de considerables dimensiones.

### 10.3. COLOCACIÓN DE MARCADORES

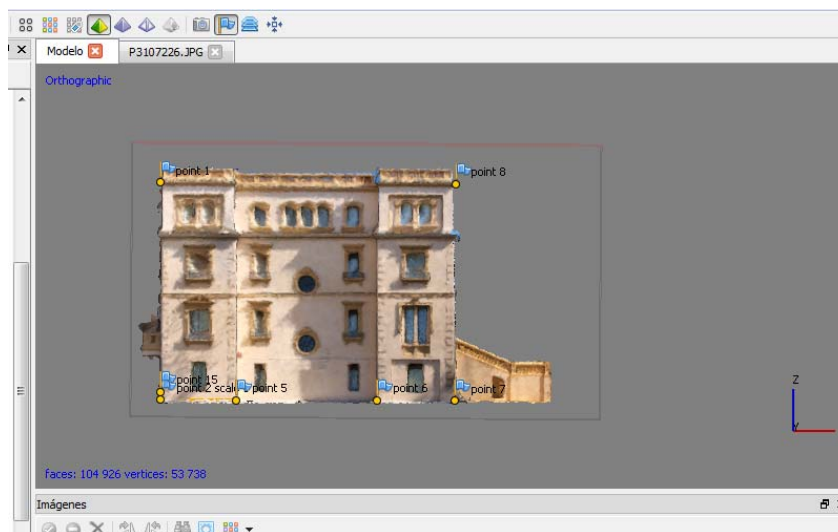
Lo siguiente para la adecuada gestión de las imágenes va a ser establecer puntos de control. Estos puntos de control tienen una doble función, por un lado indicarle al programa puntos compartidos en varias fotografías posicionados manualmente para facilitar la exactitud de la generación de los puntos y orientación de las cámaras, algo que el programa puede hacer también por sí mismo sin necesidad de apoyos, y otra que nos será en este caso imprescindible, que sería la posterior orientación y escalado del modelo al poder asignar coordenadas y distancias conocidas sobre estos marcadores.

La premisa va a ser colocar marcadores en todas las esquinas y puntos extremos de fachada, así como en otros extremos de quiebros y geometrías más complejas de restituir como la escalera lateral.

Hemos colocado un total de 32 marcadores o “puntos de apoyo” sobre las cuatro fachadas, asignándoles nombres correlativos aunque no se encuentren dentro del mismo grupo de trabajo con visos a una futura fusión de las cuatro fachadas en un solo espacio de modelado.



*Fig. 10.3.1 Colocación de marcadores*



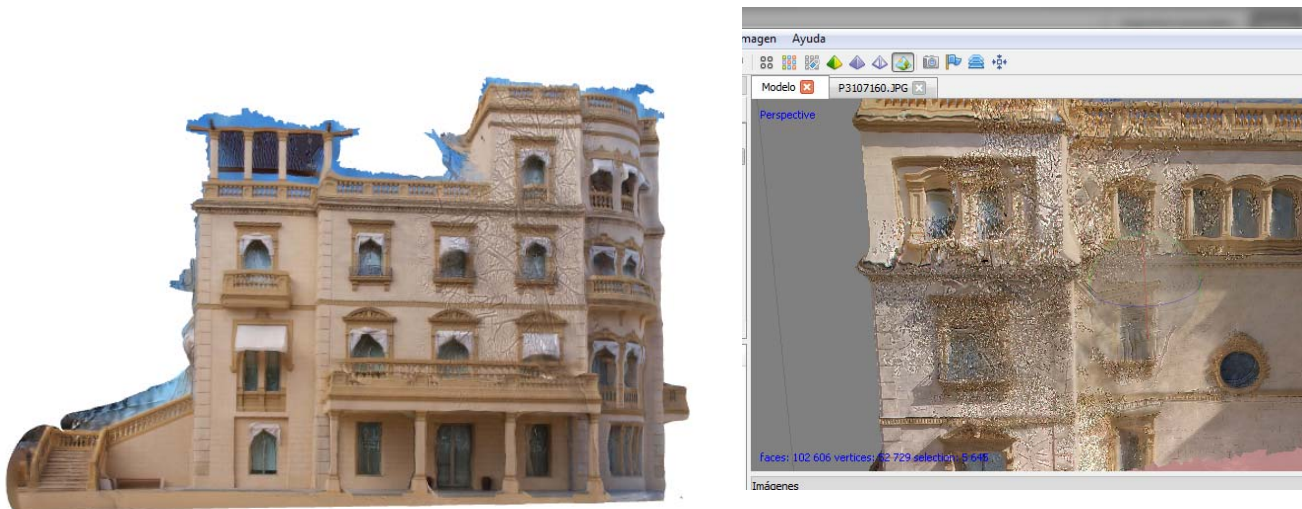
*Fig. 10.3.2 Marcadores en restitución final*

#### 10.4. CREACIÓN DE MÁSCARAS

Cómo último proceso para optimizar al máximo las tomas fotográficas vamos a dibujar máscaras en todas las imágenes, las máscaras dan opción a no incluir determinadas zonas (píxeles) que no deseamos en nuestro objetivo final, con lo que podemos delimitar la imagen dejando fuera de la información que va a ser procesada elementos como el cielo, la vegetación, suelos, etc. y todos los elementos que quedan fuera del

edificio objeto. Si no realizáramos este paso, podríamos también construir un modelo necesario, pero deberíamos realizar la eliminación de las zonas no deseadas a posteriori trabajando manualmente sobre la nube de puntos, lo que es igual de laborioso, quizás algo menos, pero que en cualquier caso es mucho menos preciso que la utilización de máscaras.

Otro factor importante a la hora de determinar su utilización es la visión de la textura distorsionada por ejemplo al existir vegetación entre nuestra fachada y nuestra cámara, el programa nos colocará los puntos en su posición correcta, pero es posible que nos responda con un color o una textura que no son reales como podemos ver en la figura 6.3.2 en la que se ha realizado una restitución sin máscara y aparecen las ramas del arbolado existente como “integradas” en la fachada, lo que nos produce un efecto que no es real a la hora de obtener el modelo texturizado.

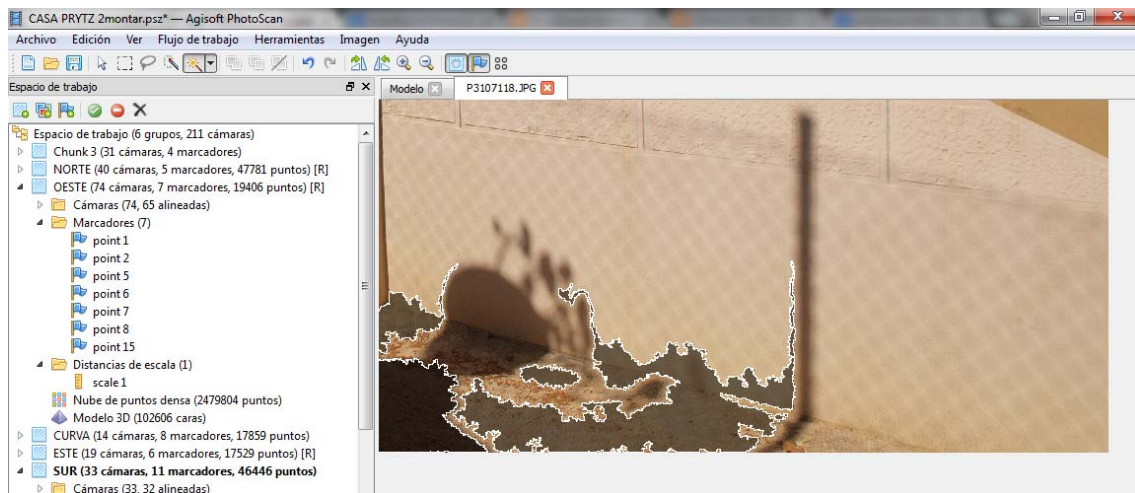


**Fig. 10.4.1 Aparición de obstáculos sobre modelo texturizado**

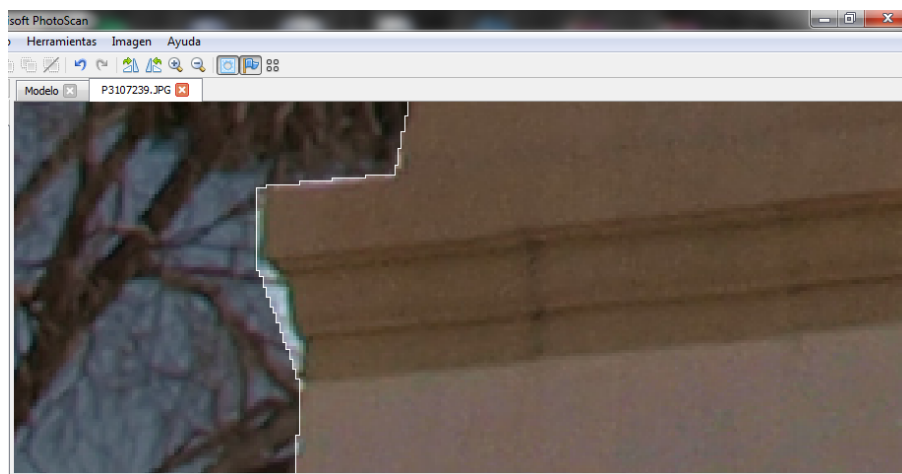
Las herramientas que nos ofrece el programa para crear máscaras, son por selección geométrica o libre o por selección de píxeles (varita mágica) lo que nos selecciona píxeles de la misma escala de colores en una zona concreta.

A la hora de crear las máscaras vemos la importancia de las sombras, ya que la selección con varita mágica se centra principalmente en el cambio de color del píxel y nos delimita por zonas sombreadas.

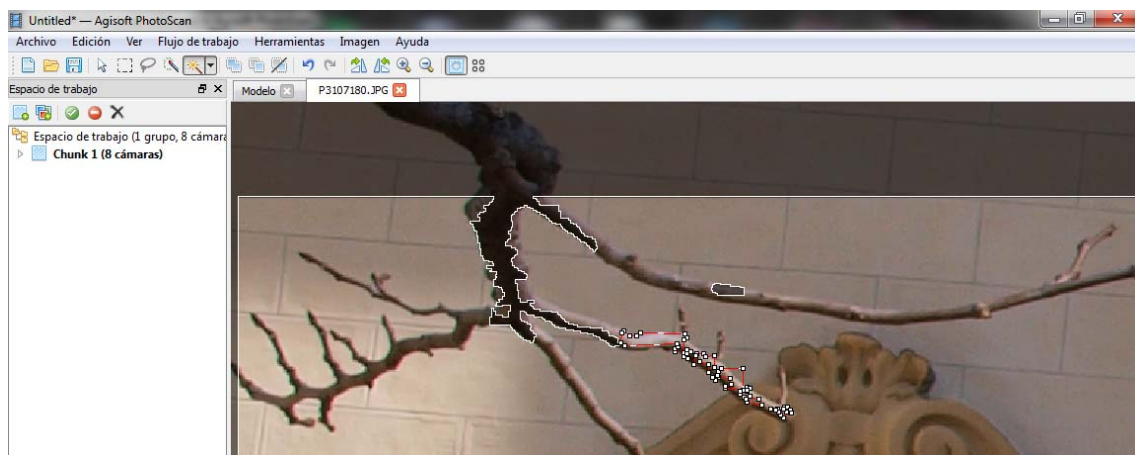




**Fig. 10.4.2 Selección de máscara con herramienta varita mágica**



**Fig. 10.4.3. Selección de máscara mediante selección libre (lazo), como vemos es menos precisa que la selección automática.**



**Fig. 10.4.4 Selección con herramienta "lápiz", que nos permite ir dibujando líneas de píxeles. Uso para eliminar obstáculos puntuales, cómo ramas o líneas de instalaciones.**

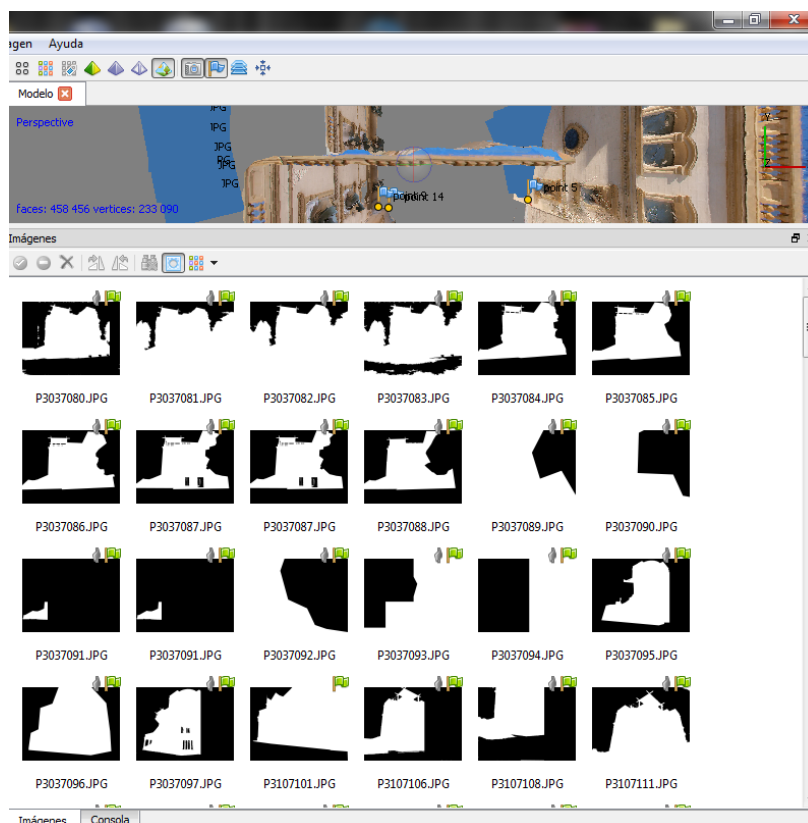


Para la eliminación de obstáculos hemos optado por enmascarar con selección libre los ejemplares de arbolado, ya que debido a su disposición nos resulta harto complicado eliminarlos "hoja a hoja", lo que nos afectará notablemente en la generación de vistas texturizadas del modelo, cómo apreciamos en los resultados de las ortofotos.



**Fig. 10.4.5 Máscara utilizada para obstáculos complicados.**

Con todas estas operaciones de enmascarar obtendremos una restitución más precisa sin elementos no deseados que posteriormente serían más difíciles de eliminar. Y podremos desvincular del modelo los píxeles de cielo, terreno, árboles, instalaciones, fondos, etc.



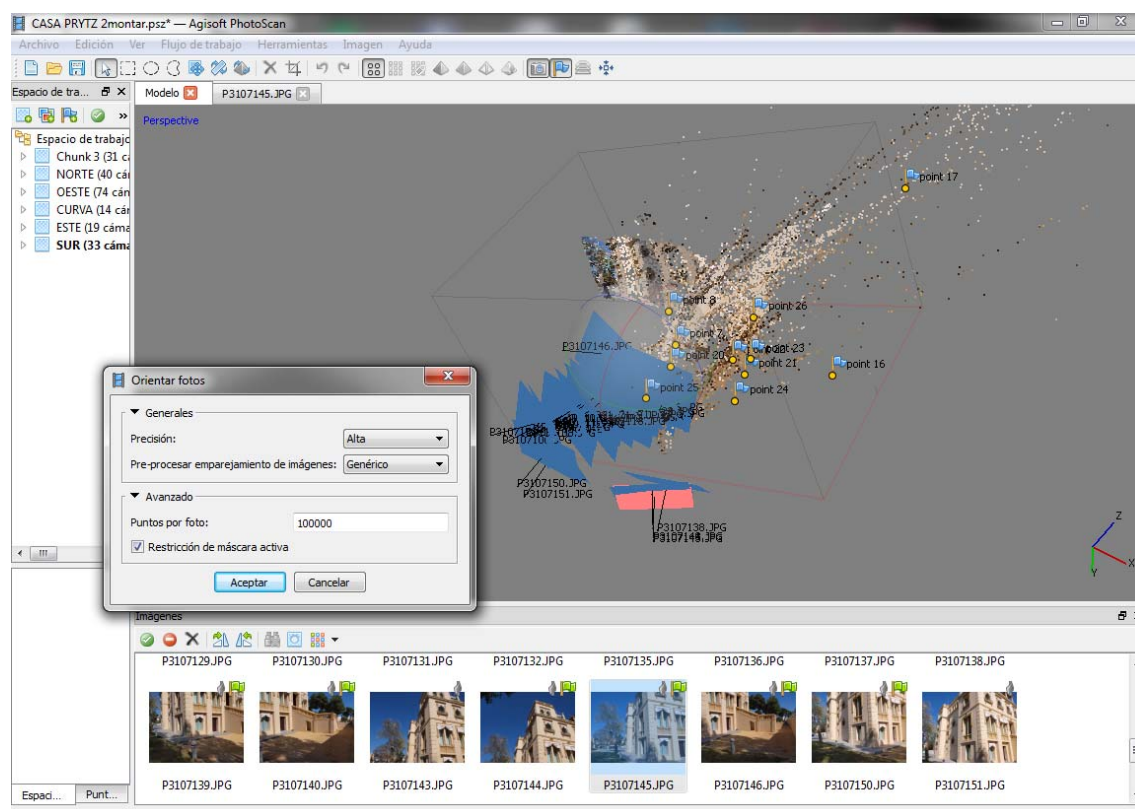
**Fig. 10.4.6 Vista de máscaras utilizadas por el programa para la restitución.**

## 10.5. ORIENTACIÓN DE CÁMARAS

Una vez optimizadas al máximo las fotografías para optimizar los resultados, orientaremos las fotografías (cámaras). Como ya sabemos, el programa orienta automáticamente las tomas emparejando puntos, por lo que directamente ejecutamos en la barra de herramientas *flujo de trabajo* la opción *orientar fotos*.

Cómo la orientación es automática, va a depender mucho de los recursos e información que le demos al programa el éxito o no de la orientación correcta.

Con todas las pruebas realizadas podemos establecer como conclusión que la alineación más efectiva se produce cuantos más puntos de control o marcadores tengamos y más referencias le demos al motor de restitución, también concluimos que la mejor opción para alinear no debe tener en cuenta las máscaras, sobre todo en un modelo tan homogéneo como este, ya que así el programa se basará en muchos más puntos característicos que le permitirá una mejor orientación, en este caso las máscaras entrarán en "juego" en el siguiente paso, una vez orientadas las fotografías.



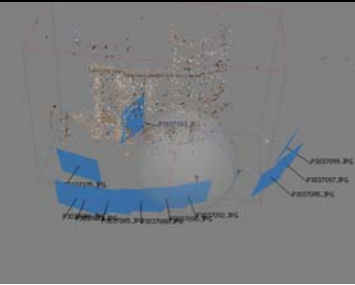
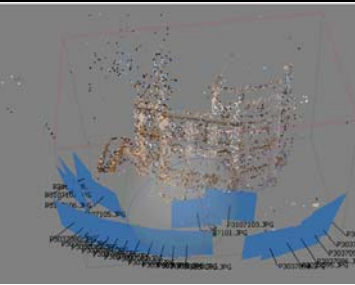
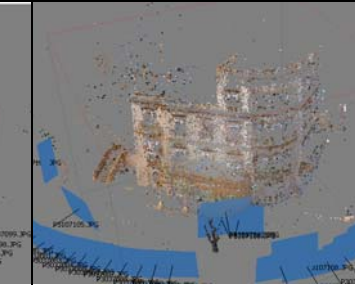
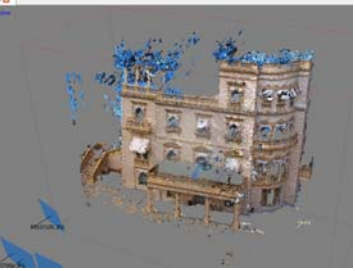
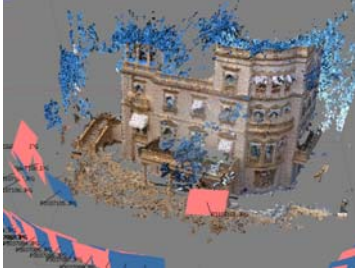
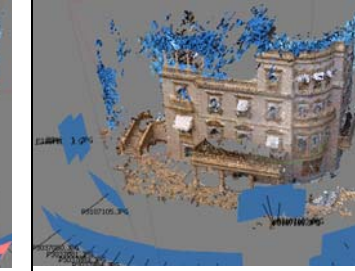
**Fig. 10.5.1 Orientación fallida utilizando máscaras.** Comprobamos que al activar las máscaras, probablemente debido a la homogeneidad de la fachada, la orientación es mucho menos precisa, por lo que vamos a obviarlas en el proceso de alineación pero sí tenerlas en cuenta en el proceso de modelado y generación de nubes de puntos y texturas.



En cuanto al número de fotografías hemos comprobado que obtenemos mejores resultados con más fotografías, bien es cierto que cuantas más fotos se "monten" con otras, más laborioso será el proceso. La clave es tener los suficientes puntos "compartidos" y no dejar zonas muertas que queden incluidas en al menos 3 tomas.

Por últimos también debemos tener en cuenta la precisión que le vamos a pedir a la orientación, siempre nos dará una mejor orientación cuanto más precisión, pero nos consumirá mucho más tiempo y recursos de procesador, de lo que no siempre dispondremos.

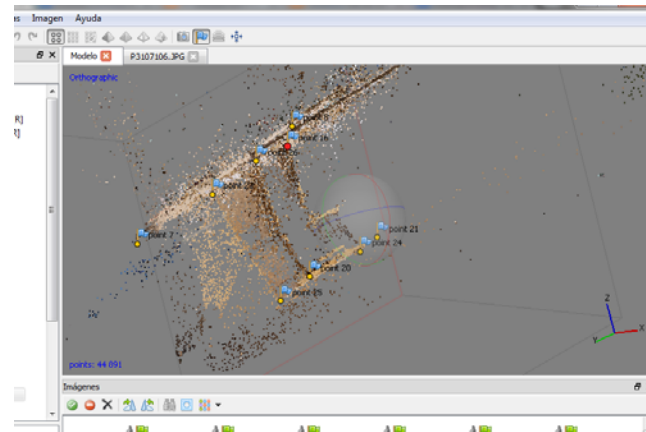
Hay que tener en cuenta, que la orientación nos va a dar como resultado una primera nube de puntos dispersa sobre la que versará todo el proceso posterior y debemos conseguir la mejor base posible.

Nº FOTOGRAFÍAS	11	24	24
NUBE DE PUNTOS DISPERSA			
PRECISION ORIENTACIÓN	MEDIA	MEDIA	ALTA
PUNTOS NUBE DISPERSA	≈2.000 puntos	≈7.000 puntos	≈20.000 puntos
NUBE DE PUNTOS DENSA			
CALIDAD RECONSTRUCCIÓN	MEDIA	MEDIA	MEDIA
PUNTOS NUBE DENSA	≈600.000 puntos	≈1.200.000 puntos	≈1.240.000 puntos

**Fig. 10.5.2** Diferentes nubes de puntos dispersas obtenidas en el proceso de orientación en relación a la calidad requerida y número de cámaras utilizadas. Observamos que el número de fotografías influye notablemente en la nube de puntos de la reconstrucción, no tanto así la precisión de la orientación inicial.

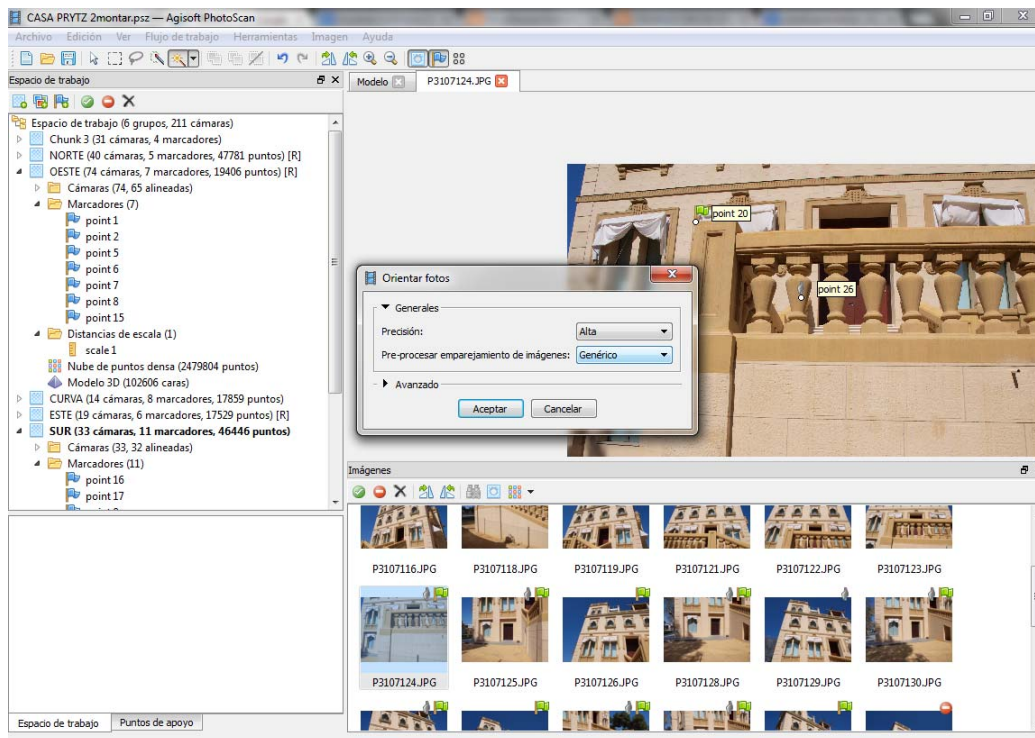
Una vez analizado el proceso y teniendo definidos los parámetros que más eficacia nos aseguran comenzamos con el proceso de reconstrucción definitivo, que realizaremos como hemos dicho anteriormente fachada a fachada.

Elegimos la fachada sur como fachada de prueba por dos aspectos, primero porque no tiene obstáculos intermedios de vegetación como las otras y segundo porque al limitar el espacio de tomas en distancia, nos va a permitir obtener una mejor resolución de las imágenes al estar tomadas desde más cerca, veremos más adelante la influencia de la escala de toma de fotografías en el resultado final.



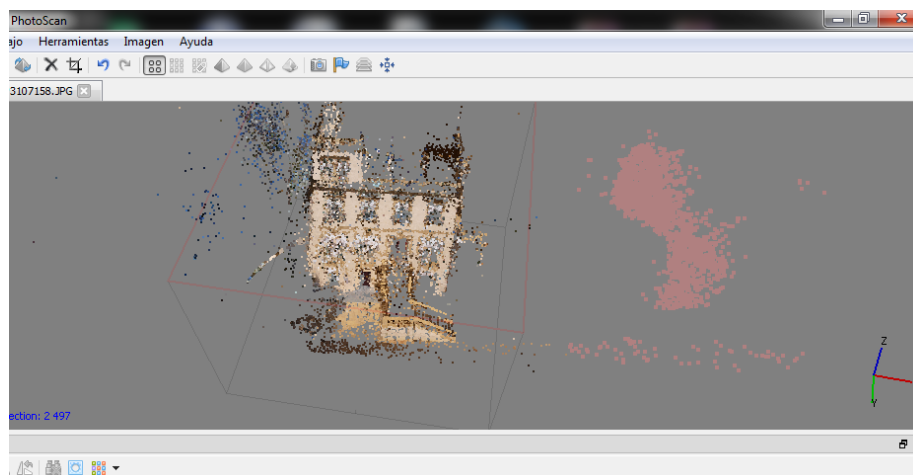
**Fig. 10.5.3 Orientación obtenida automáticamente de la fachada Sur**

Una vez tenemos la orientación correcta, iremos comprobando los marcadores punto a punto, reposicionándolos manualmente para conseguir optimizar los resultados de restitución. Iremos comprobando la alineación foto a foto, reorientando las que nos resulten fallidas y volveremos a orientar para conseguir la nube de puntos dispersa definitiva.



**Fig. 10.5.4** *Recolocación de puntos en gris a su posición correcta con la herramienta selección hasta que aparezcan en verde. Y reorientación.*

Una vez tenemos todas las tomas alineadas y con su máscara, nos quedan los puntos dispersos que podemos limpiar para eliminar lo evidentemente fuera de nuestra restitución



**Fig. 10.5.5** *Borrado de puntos con la herramienta selección geométrica y Supr*

Realizamos para las cuatro fachadas el mismo proceso de alineación que hemos seguido en la fachada sur.

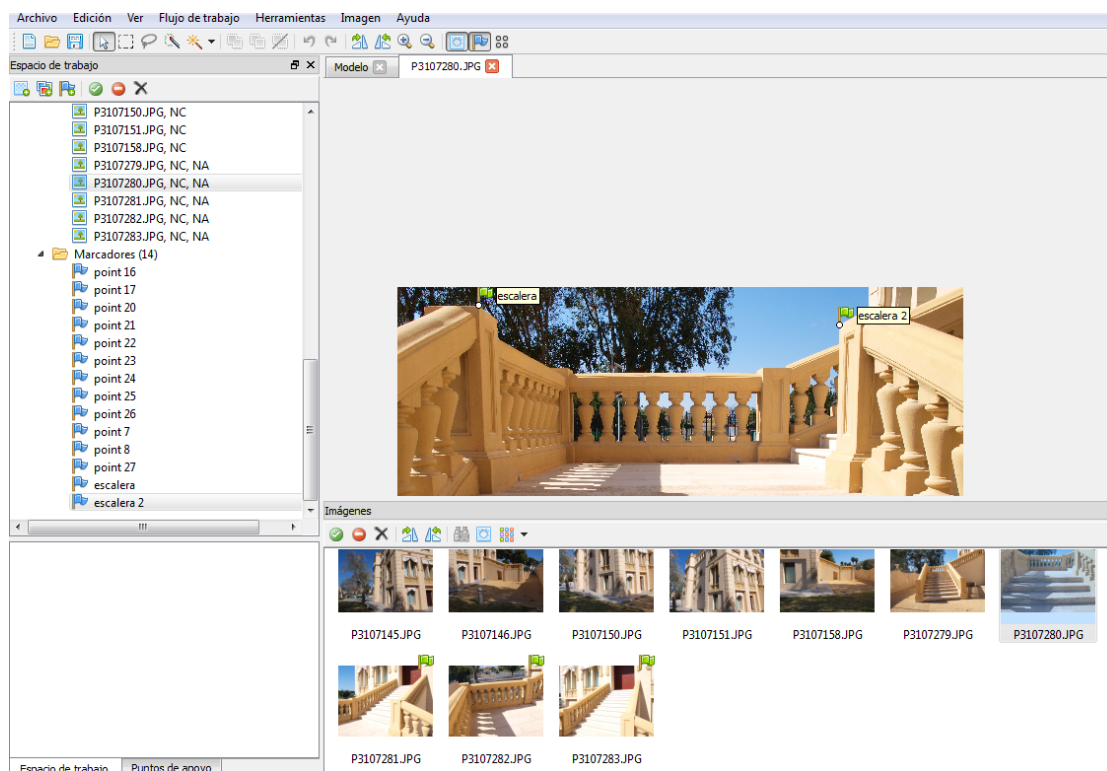
## 10.6. INSERCIÓN DE TOMAS DE DETALLE Y PUNTOS CIEGOS

En prácticamente todas las edificaciones que pretendamos fotografiar vamos a encontrar puntos ciegos a los que no podamos acceder con la cámara. Esos elementos quedarán fuera de la restitución de nuestro edificio y deberán ser incorporados posteriormente en los trabajos de edición del modelo o de las ortofotografías.

La metodología seguir en los casos en que podamos hacerlo, es la de realizar fotografías fuera de nuestro barrido general, fotografiando los elementos que queramos incluir en la restitución y que habían quedado fuera del campo de visión general desde puntos accesibles en cubiertas, balcones, huecos, etc.

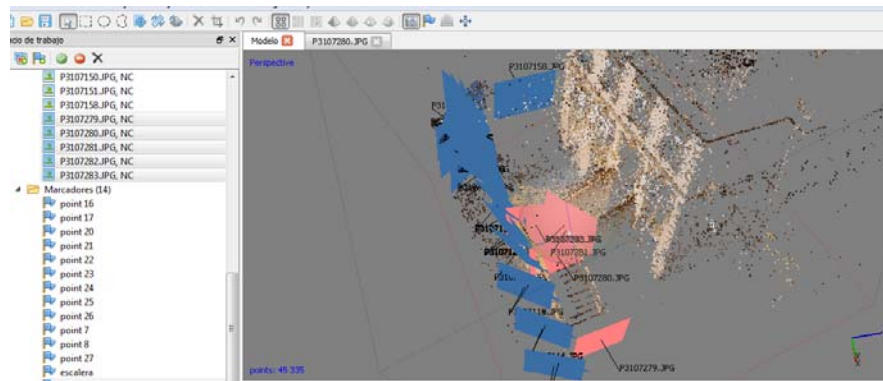
Al no poder acceder al interior del edificio, se han tomado para mostrar el proceso unas fotografías de detalle de la escalera anexa a la fachada sur.

Para poder encajar el detalle dentro de nuestro edificio vamos a otorgarle unos puntos de control extras.



**Fig. 10.6.1 Inserción de fotografías de detalle y colocación de puntos de control de la escalera anexa.**

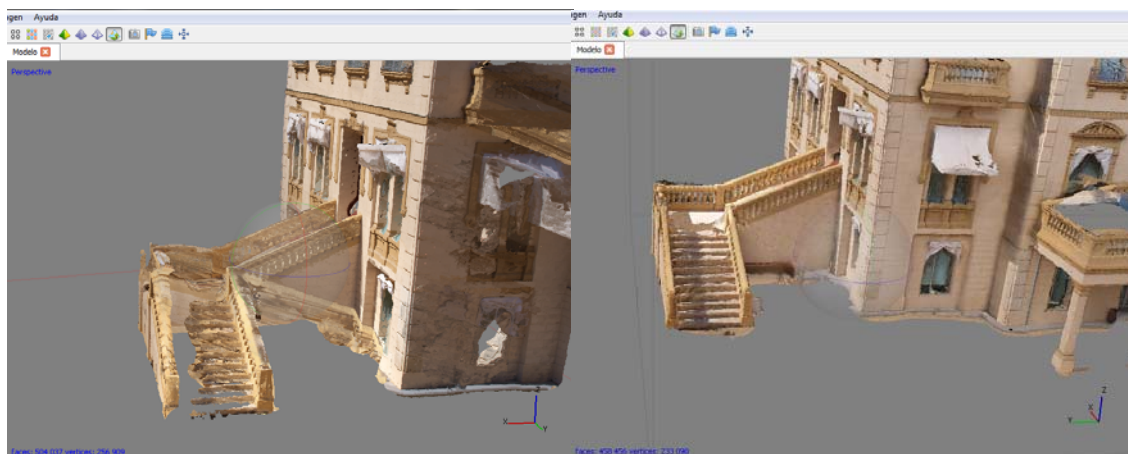
Una vez insertadas las fotografías y colocados los marcadores necesarios tendremos que alinear las nuevas tomas por medio del submenú que aparece al clicar el botón derecho sobre las fotografías no orientadas que aparecen con las iniciales NA como vemos en la fig. 10.6.1.



**Fig. 10.6.2 Alineación de Cámaras en Fachada Sur**

Este mismo proceso es el que podemos seguir con detalles sobre los que necesitemos más precisión, ya que no alcancen la resolución deseada desde la distancia de las tomas generales.

En nuestro caso hemos realizado dos acciones a este efecto. Una para completar el trazado de la escalera anexa que como apreciamos en la figura siguiente pierde la parte izquierda del peldañado antes de completar la serie de tomas.

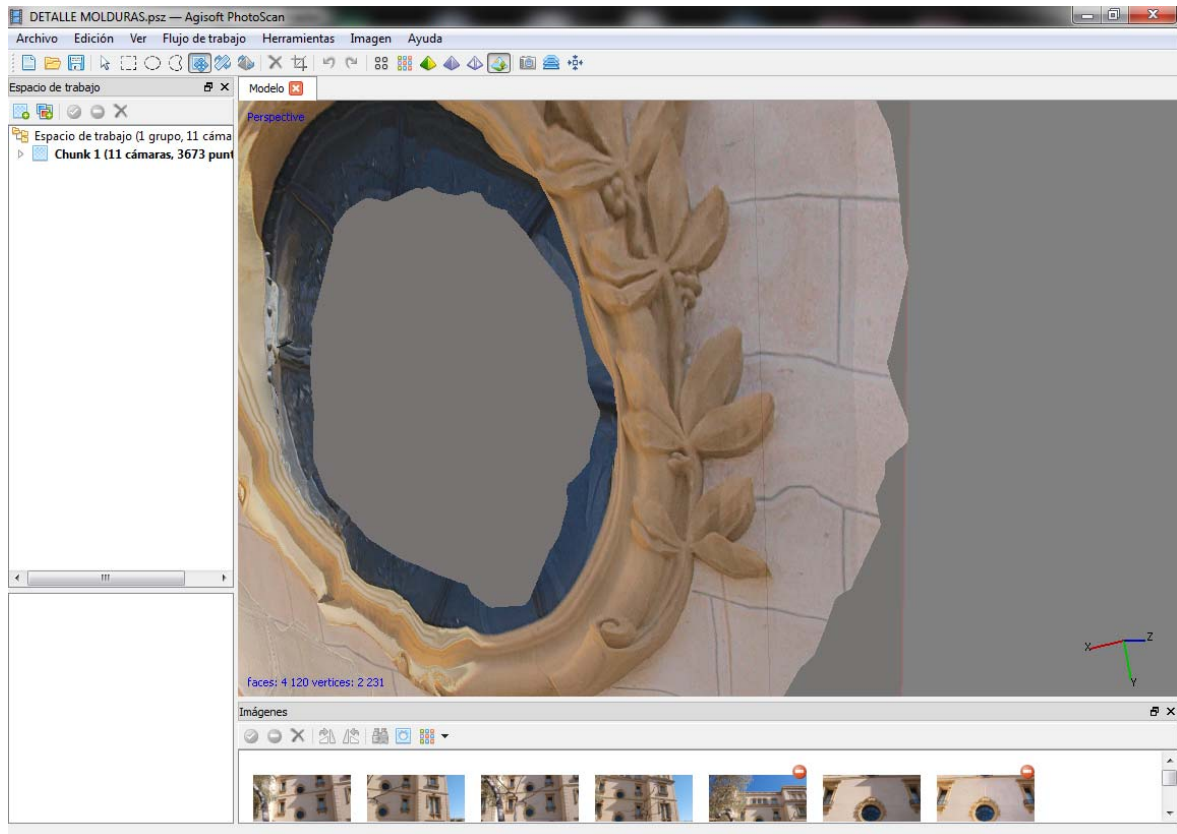


**Fig. 10.6.3 Diferencia entre restitución realizada con puntos ciegos en el primer tramo de escalera y después de introducir las tomas extras de detalle.**

Cómo ejemplo de detalle hemos realizado en la fachada Oeste unas tomas más cercanas de la moldura de la ventana circular, que insertaremos también en nuestro proyecto completo siguiendo el mismo método.

Si disponemos de la información podemos ejecutar este proceso al mismo tiempo que la orientación general. Aunque en este caso lo hemos realizado a posteriori al darnos cuenta de la falta de datos.





***Fig. 10.6.4 Detalle de fachada obtenido con su texturizado final.***



### 10.7. GENERACIÓN DE NUBE DE PUNTOS DENSA

Una vez tenemos nuestras cámaras orientadas y nube de puntos dispersa, vamos a generar la nube de puntos densa del modelo. Continuando por partes con la fachada sur. Desde el menú Herramientas Flujo de Trabajo ejecutamos generar nube de puntos densa. Nos ofrece una serie de posibilidades de configuración del proceso, siendo su característica más importante la calidad que le pidamos a dicha generación de la que dependerá el número de puntos que nos genere y por lo tanto la densidad de la nube obtenida.

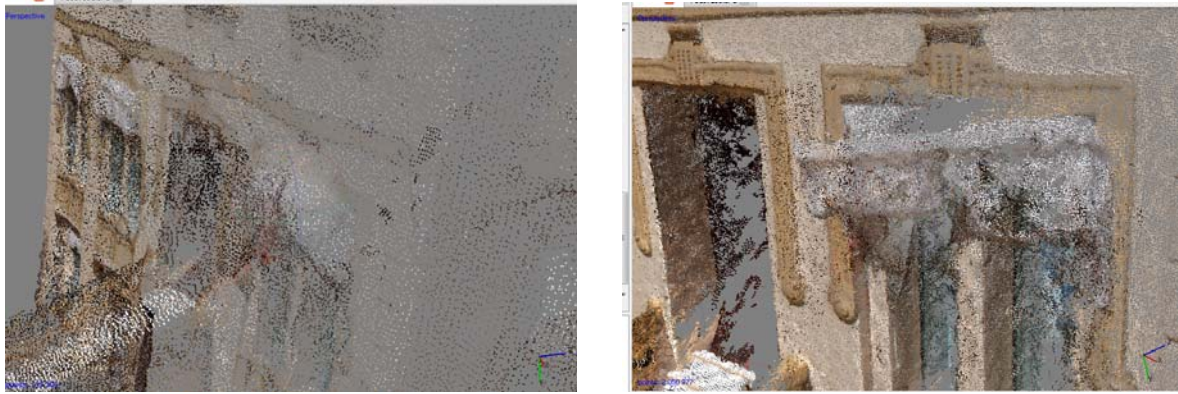
Hemos realizado pruebas mediante varias calidades obteniendo las conclusiones obvias. Por lo que nos centraremos como en el resto del proceso en la opción que nos genere los mejores resultados en un tiempo y con un resultado aceptable.

Vamos a realizar la primera prueba de generación de nube de puntos densa, en calidad baja, el tiempo estimado son unos 5 minutos y a continuación procedemos con una calidad de restitución media, nos estima un tiempo de restitución de 50 minutos, podemos ver el aumento de nitidez y de detalle obtenido en la comparación de resultados siguiente.



*Fig. 10.7.1 Vista de fachada de restitución en calidad baja, a la izda. y calidad media a la dcha.*

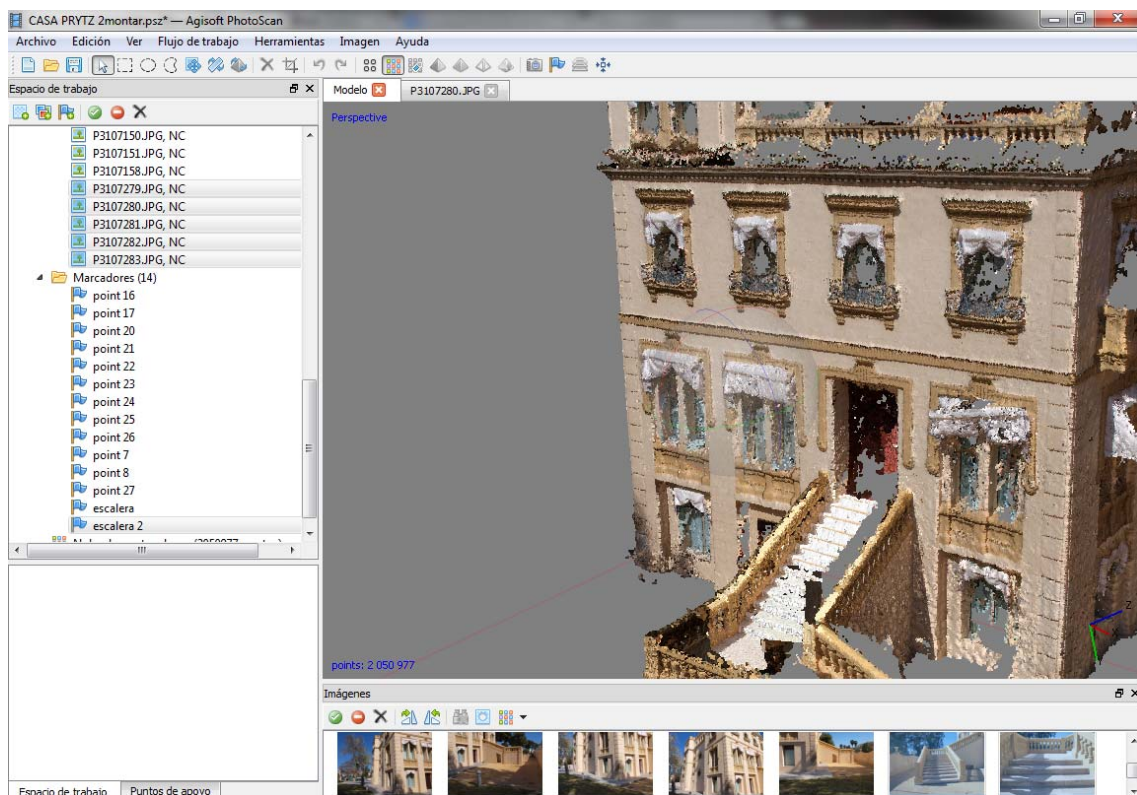
Podemos observar que a simple vista la diferencia de calidad no es alarmante, y hemos ahorrado 45 minutos de tiempo de restitución entre una y otra. Pero la realidad es que si hacemos un zoom sobre los dos modelos la diferencia de densidad entre una nube de puntos y otra es considerable. (Ver fig. 10.7.2)



**Fig. 10.7.2 Zoom de nube de puntos izqda. con restitución en mínima calidad y dcha. en media**

Podemos ver claramente el efecto de la sombra en la esquina izquierda inferior. También apreciamos que faltan algunos puntos de la perspectiva de la escalera y de los balaustres de la cornisa que no hemos conseguido plasmar debido a su falta de accesibilidad visual, al tomar el ángulo de la fotografía. Hemos la solución a éstos problemas en el punto anterior (10.6).

Con una calidad media la uniformidad de la nube de puntos obtenida con una calidad aceptable como podemos ver en la figura 10.7.3, no obstante para conseguir una mayor resolución en la nube de puntos vamos a intentar mejorar el resultado



**Fig. 10.7.3 Nube de puntos densa en calidad de restitución “MEDIA”**

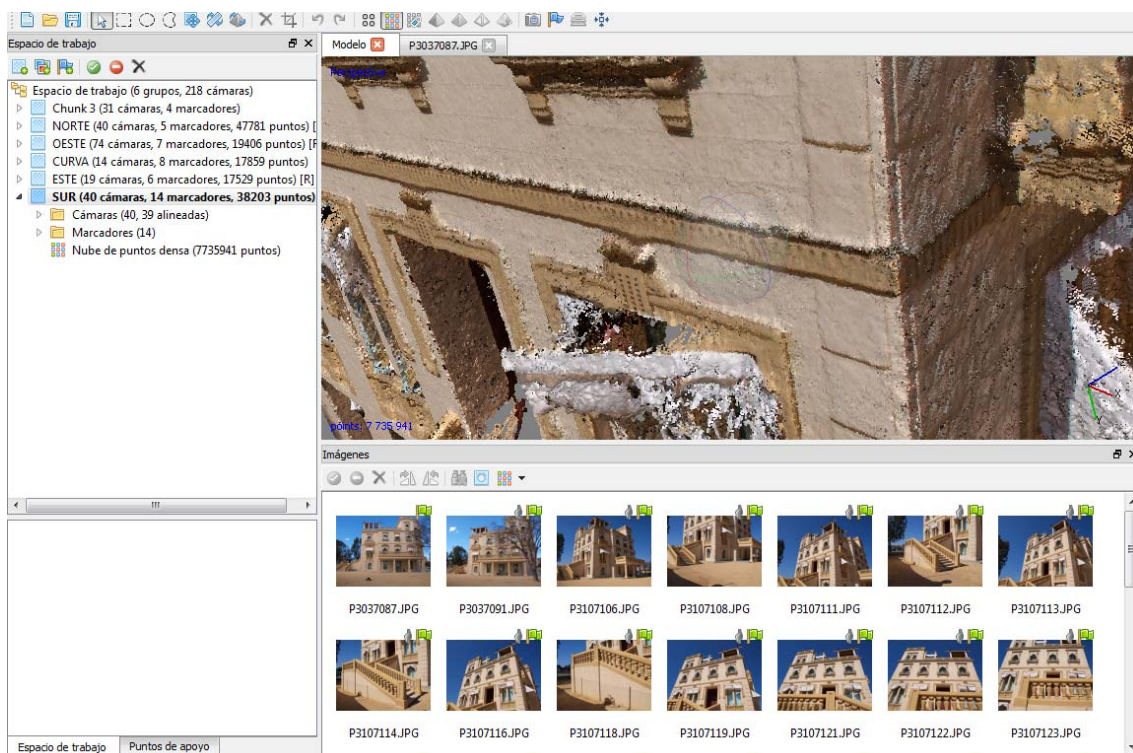
Procederemos a comprobar la generación de la nube de puntos con una calidad alta, lo que nos va a conllevar un tiempo de restitución aproximado de 2:30 horas. Y con lo que, según los resultados, analizaremos si merece la pena buscar una exactitud mayor en relación al tiempo que nos llevará el aumento de resolución del modelo.

Lo primero que observamos la nube de puntos mucho más densa en la que contamos con aproximadamente 7.700.000 puntos, frente a los 2.000.000 de la generada con calidad media y los 750000 generados con la calidad baja.

Pero también podemos observar el aumento de uniformidad y densidad de la nube, con unos resultados mucho más compactos (fig. 10.7.3).

De todas estas operaciones podemos desprender que con una restitución de calidad media para nuestro trabajo nos es suficiente, pues no vamos a necesitar una densidad excesiva, ya que vamos a conseguir la presentación del levantamiento fundamentalmente a través del modelo texturizado.

Las secciones que vamos a obtener a partir de las nubes de puntos nos van a servir igualmente, ya que la resolución que necesitamos es más de posicionamiento que de densidad de la nube tal y como veremos en el apartado dedicado a la delineación.

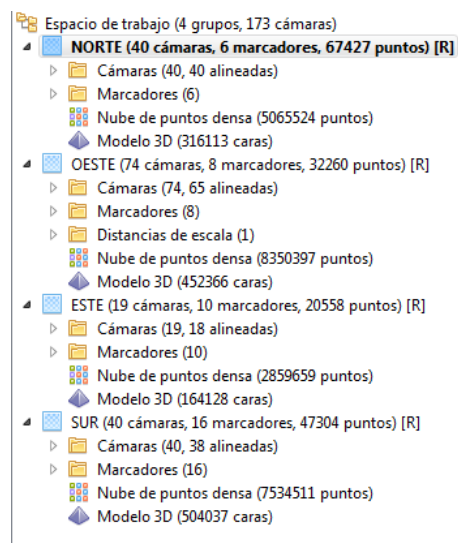


**Fig. 10.7.3**



Generando las nubes de puntos para las 4 fachadas al igual que hemos procedido con la sur, tendremos los datos necesarios para generar un modelo volumétrico de las misma mediante la herramienta de generación de malla poligonal en las herramientas de *flujo de trabajo*.

Como reseña diremos que la fachada este ha generado con la misma calidad de puntos una nube mucho menos densa debido al menor número de fotografías utilizado, con una resolución de casi 3.000.000 de puntos mientras el resto parte de 5.000.000 de puntos, la norte, siendo de una dimensión de la mitad y alrededor de 8 millones de puntos la fachada norte y la oeste. Lo que prueba que la densidad de la nube de puntos está directamente relacionada con el número de fotografías de las que dispongamos.



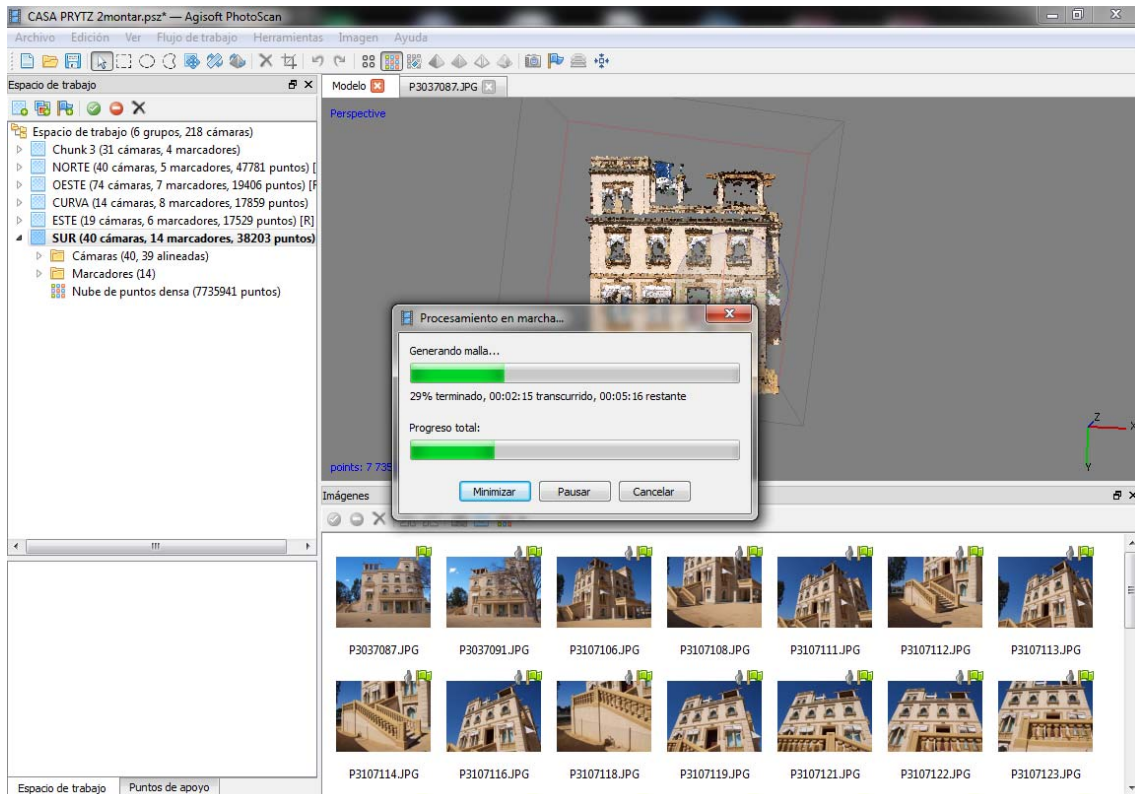
**Fig. 10.7.4** Listado de espacios de trabajos de Photoscan con los datos de cada fachada

## 10.8. GENERACIÓN DE MODELO

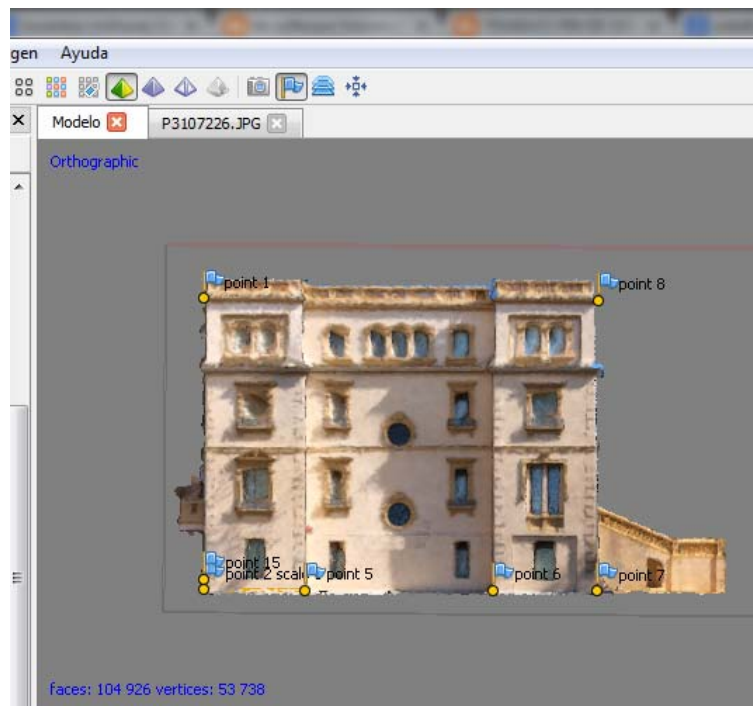
La obtención de la nube de puntos densa es la base principal de la restitución fotogramétrica. Con ella tendremos una nube de puntos y colores con la que podremos generar modelizados.

En el primer paso generamos la malla a partir de la nube de puntos densa desde las opciones de *flujo de trabajo*. Este proceso no conlleva demasiado tiempo de procesamiento, observamos en la figura 6.8.1 que tarda menos de 10 minutos, ya que el grueso de la restitución lo realizada al crear la nube de puntos.

En el proceso de generar malla, el programa crea una red de unión de esos puntos da color a las superficies geométricas resultantes en base a la nube de puntos base.



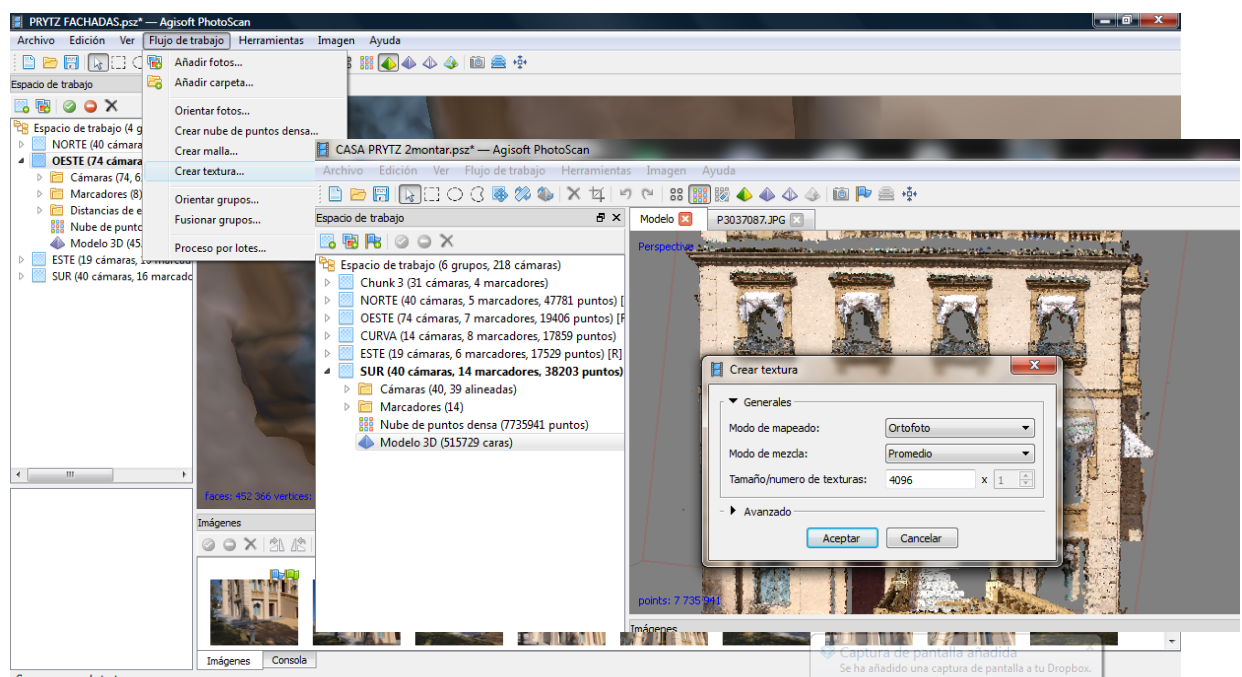
**Fig. 10.8.1** Proceso de generación de malla



**Fig. 10.8.2 Malla generada de la fachada Oeste**

Una vez generada la malla que como apreciamos en la imagen 10.8.2 nos genera un modelado algo “tosco”, para presentar o tratar. Podremos generar el grafismo del mismo aplicándole un texturizado extraído mediante el mosaico realizado por Photoscan de todas las fotografías que utiliza como dato.

El proceso es el mismo mediante la herramienta de *flujo de trabajo* y *crear textura*



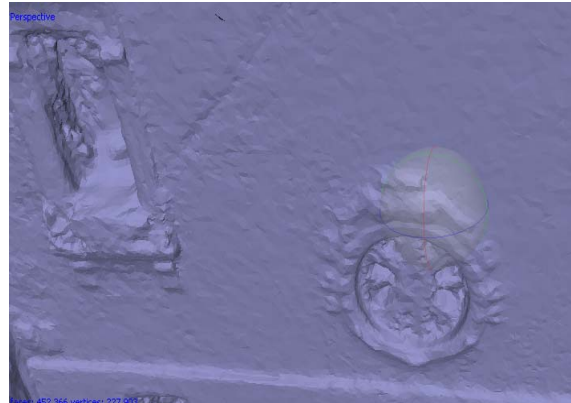
**Fig. 10.8.3 Proceso de texturizado**



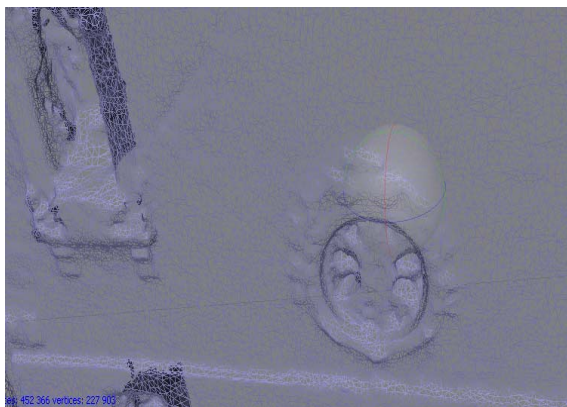
Una vez obtenida la textura podemos visualizar la malla en 4 modalidades, sombreado a color, sombreado monocromático, malla de alambre o malla texturizada, de lo que podemos ver un ejemplo en las siguientes figuras.



**Fig. 10.8.4 Malla sombreado color**



**Fig. 10.8.5 Malla sombreado monocromo**

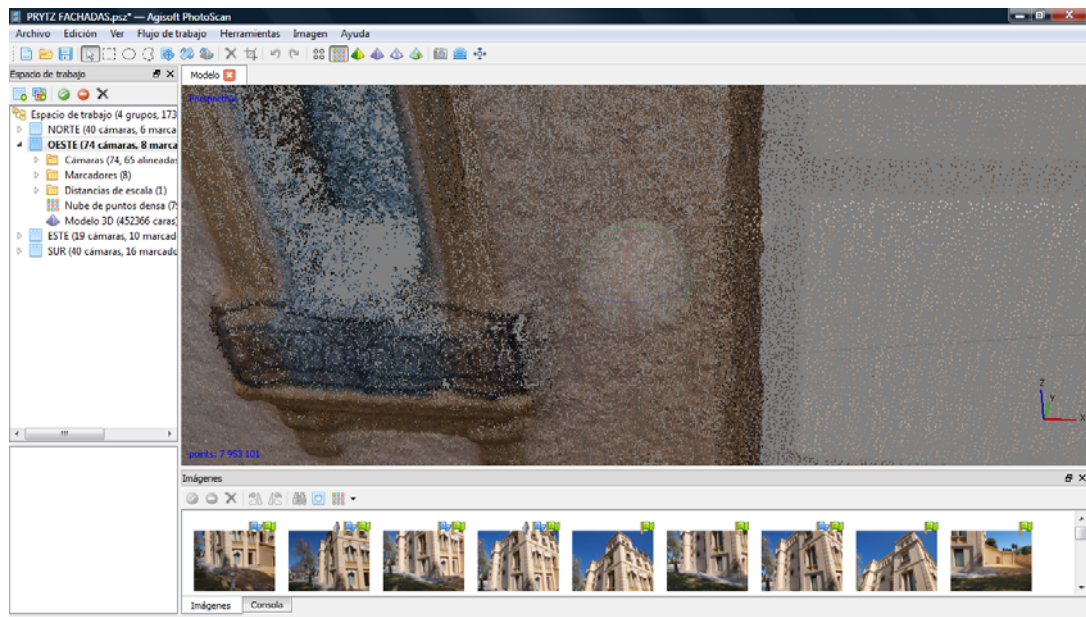


**Fig. 10.8.6 Malla de alambre**



**Fig. 10.8.7 Malla texturizada**

Hemos elegido esta serie de imágenes para fijarnos en el detalle de la mala resolución que nos ofrece la zona de las ventanas y forjas. No nos hemos dado cuenta de esto hasta que no hemos llegado al modelo texturizado y lo que nos puede hacer pensar erróneamente que se trata de una deformación producida por la fotografía. Como vemos en la figura 10.8.7 hemos arrastrado esta falsedad desde la nube de puntos densa, lo que nos lleva una vez más a deducir la importancia de la generación de la misma para el proceso que estamos llevando a cabo.

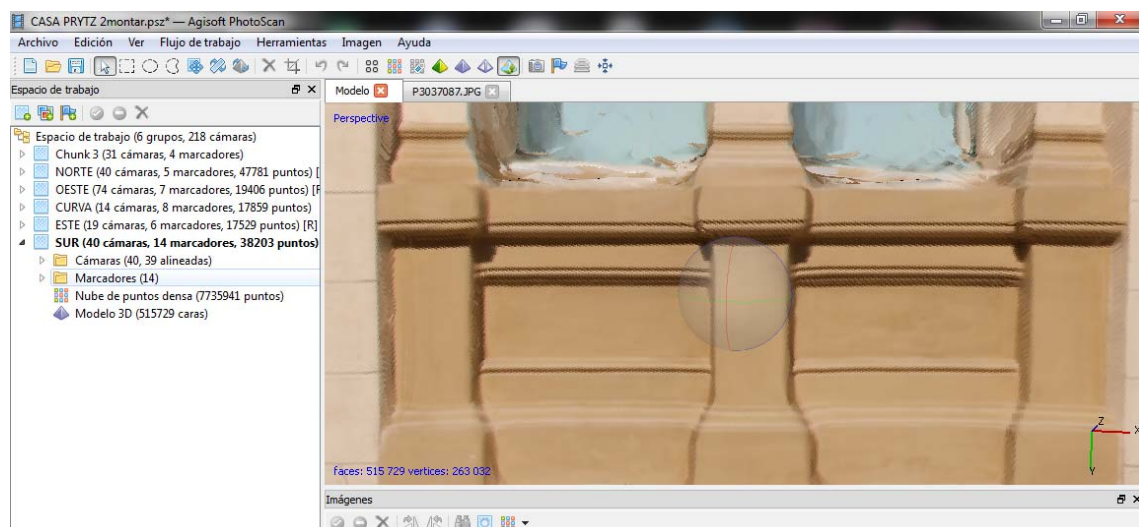


**Fig. 10.8.8** Nube de puntos, detalle de falsedades

Y para solucionarlos nos deberíamos remitir a la realización más fotografías de detalles de todos estos elementos que no alcanzan la realidad en la representación a la escala que desearíamos.

Volvemos a repetir que no es nuestro objetivo en este caso conseguir un modelado perfecto y que no estamos trabajando a escala de detalle. Aún así hemos creído conveniente hacer referencia en puntos anteriores al modo de solventarlo en el caso de que ese fuese nuestro cometido último.

Para nuestro objetivo de delineación, la malla texturizada es el elemento que nos va a proporcionar más realismo y es de donde se van a extraer las ortofotografías que utilizaremos en el proceso de delineación y con el que hemos conseguido unas realidades más que aceptables para nuestro cometido.



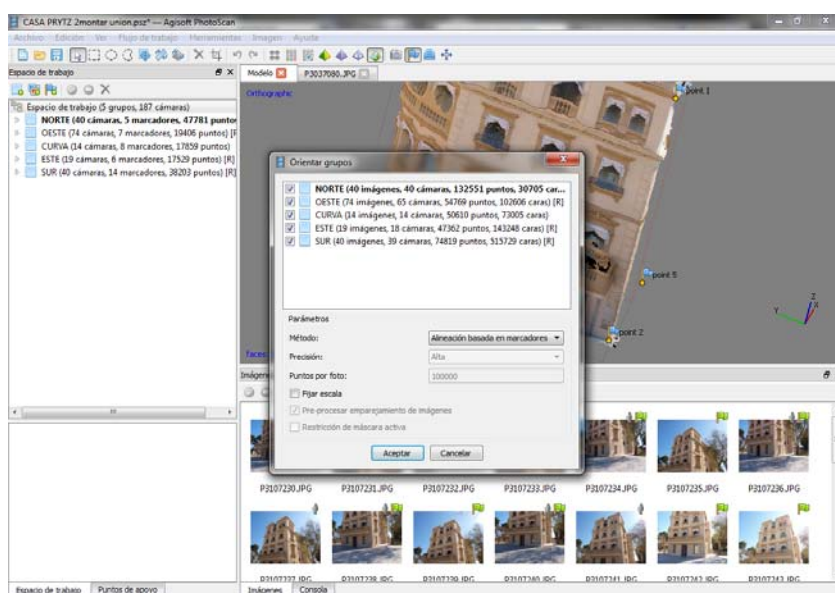
**Fig. 10.8.9** Detalle de malla texturizada con los vértices aceptables conseguidos

Al igual que en los anteriores operaciones realizamos el mismo proceso para las 4 fachadas con lo que habremos obtenido una nube de puntos y malla texturizada.

## 10.9. FUSIÓN DE GRUPOS

Como último proceso a realizar sobre la restitución de nuestro edificio en Photoscan vamos a generar el modelo de todo el edificio conjunto, para ello fusionamos las 4 fachadas, y para lo que tendremos previamente que orientar basándonos en los marcadores colocados.

Hemos tenido la precaución de asignar puntos correlativos para las 4 fachadas que luego podemos compartir y orientar correctamente las 4 fachadas entre sí. Aunque en las opciones que nos proporciona el programa no nos ha dado resultados la fusión por marcadores, el programa no ejecuta la acción mostrando un error, por lo que hemos optado por fusionarlas en base a puntos lo que nos ha dado unos buenos resultados.

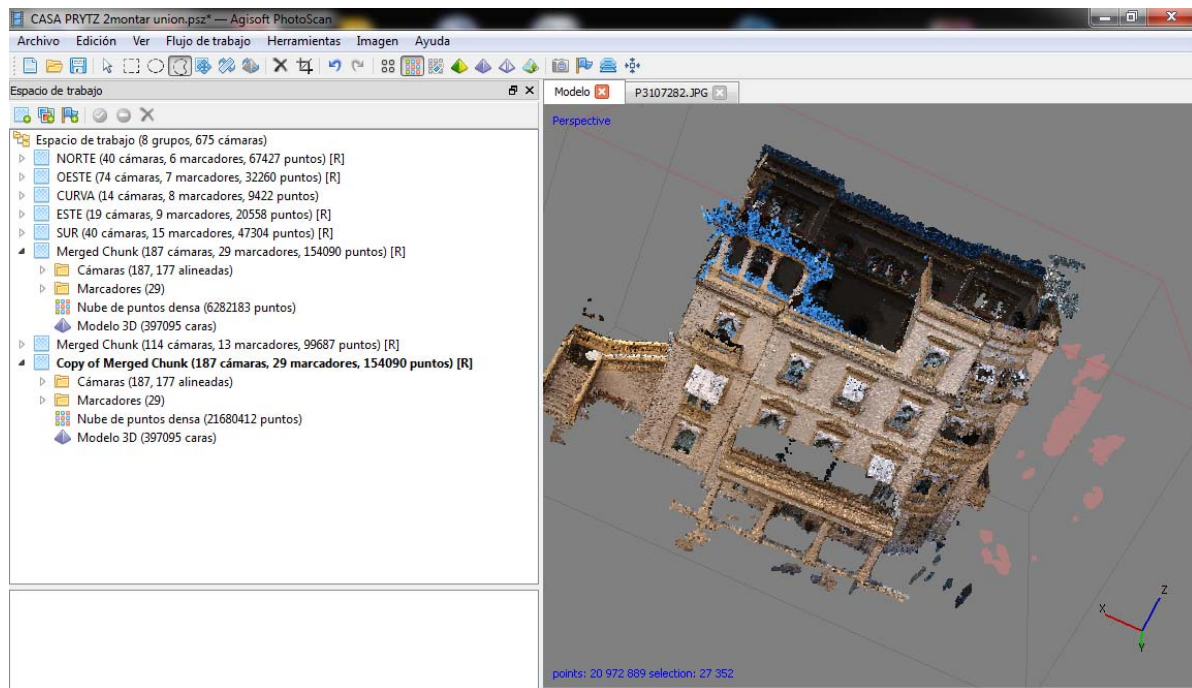


**Fig. 10.9.1 Orden no aceptada alineación por marcadores**

Podemos realizar y es lo que hemos hecho en este caso la orientación de grupos basada en puntos, que también nos proporciona unos buenos resultados. Pero tiene el inconveniente de que la fusión nos genera una nube de puntos dispersa con la orientación general y deberíamos volver a generar la nube de puntos densa para las 4 fachadas conjuntamente con el consiguiente incremento de recursos necesarios para ello.

Cómo ya tenemos nuestras fachadas orientadas individualmente acudiremos directamente a la orden *flujo de trabajo* y *fusionar grupos* directamente que nos proporcionará los resultados requeridos y nos ha fusionado las nubes densas y mallas de las 4 fachadas correctamente.

En caso de que no resultara la fusión directa, hubiéramos tenido que volver a orientar todo el conjunto de fotografías y repetir el proceso completo de obtención del modelo.



**Fig. 10.9.2 Imagen de la fusión de fachadas procesada por Photoscan**

En este punto tenemos nuestro modelo completo geométricamente y para completar el proceso solo nos resta escalarlo y posicionarlo geográficamente para nuestros fines.



### 10.10. ALINEACIÓN DE MARCADORES, ORIENTACIÓN Y ESCALA, ERROR Y TOLERANCIA

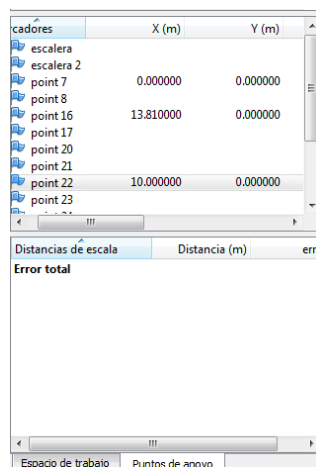
Para escalar el modelo vamos a servirnos de los marcadores que hemos ido colocando en puntos vértices de la edificación.

Photoscan presenta en su interfaz un panel de puntos de apoyo sobre el que vamos a trabajar para conseguir la escala y orientación del modelo.

Lo hacemos dando coordenadas reales a al menos 3 marcadores para que definan un plano de posición y una escala a través del panel de puntos de apoyo que nos permite modificar y consultar los puntos creados de control.

Necesitamos por lo tanto algunas medidas para poder posicionar los puntos. Los vamos a situar en su posición relativa para una de las esquinas de base de la fachada.

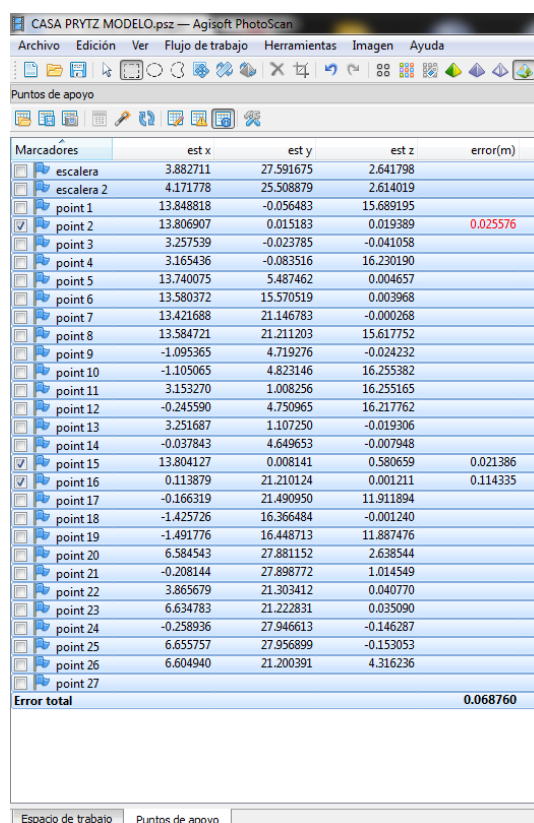
Al introducir los 3 puntos y actualizar, el programa nos transfiere el error estimado para la posición introducida para esos puntos.



**Fig. 10.10.1 Inserción de 3 puntos por coordenadas para escalado**

Nos ha generado un error en este caso para el conjunto del edificio de 6,5 cm lo que es algo más de lo esperado pero que aún así es una precisión bastante aproximada.



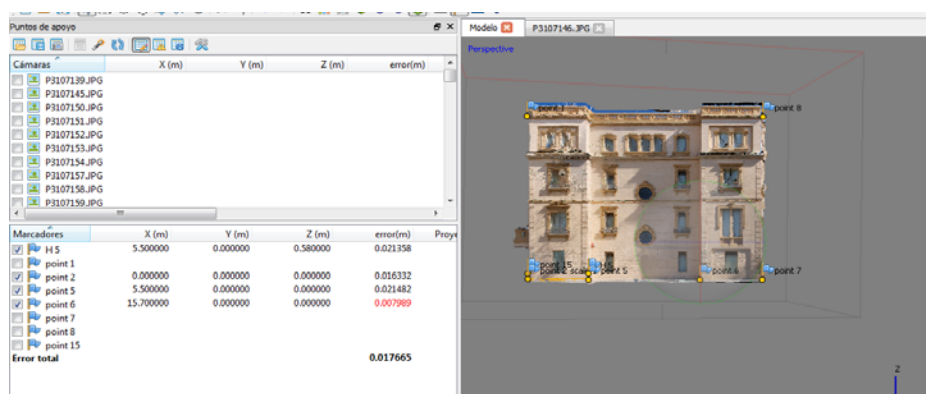


Marcaradores	est x	est y	est z	error(m)
escalera	3.882711	27.591675	2.641798	
escalera 2	4.171778	25.508879	2.614019	
point 1	13.848818	-0.056483	15.689195	
point 2	13.806907	0.015183	0.019389	0.025576
point 3	3.257539	-0.023785	-0.041058	
point 4	3.165436	-0.083516	16.230190	
point 5	13.740075	5.487462	0.004657	
point 6	13.580372	15.570519	0.003968	
point 7	13.421688	21.146783	-0.000268	
point 8	13.584721	21.211203	15.617752	
point 9	-1.095365	4.719276	-0.024232	
point 10	-1.105065	4.823146	16.255382	
point 11	3.153270	1.008256	16.255165	
point 12	-0.245590	4.750965	16.217762	
point 13	3.251687	1.107250	-0.019306	
point 14	-0.037843	4.649653	-0.007948	
point 15	13.804127	0.008141	0.580659	0.021386
point 16	0.113879	21.210124	0.001211	0.114335
point 17	-0.166319	21.490950	11.911894	
point 18	-1.425726	16.366484	-0.001240	
point 19	-1.491776	16.448713	11.887476	
point 20	6.584543	27.881152	2.638544	
point 21	-0.208144	27.898772	1.014549	
point 22	3.865679	21.303412	0.040770	
point 23	6.634783	21.222831	0.035090	
point 24	-0.258936	27.946613	-0.146287	
point 25	6.655757	27.956899	-0.153053	
point 26	6.604940	21.200391	4.316236	
point 27				
<b>Error total</b>				<b>0.068760</b>

**Fig. 10.10.2 Error total al introducir 3 puntos para todo el conjunto 0,06876 m  $\approx$  6,88 cm**

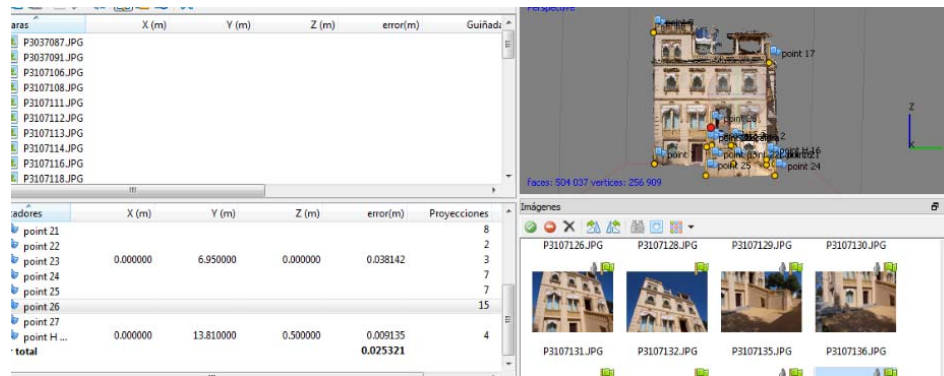
Como vemos también nos aporta el programa las coordenadas estimadas de posición de todos los marcadores generados, lo que puede servirnos de referencia para otras muchas tareas.

Una de las grandes ventajas que nos ofrece Photoscan es poder trabajar con varios grupos de imágenes y modelos a la vez, por lo que hemos encontrado la posibilidad de tratar las fachadas por separado en su orientación y escala, encontrándonos que en su restitución por separado y con 3 o 4 puntos referenciados para cada fachada, los errores de precisión descienden notablemente, quedando entre 1,77 cm y 2,53 cm. (ver fig. 10.10.3 y 10.10.4)



Marcaradores	X (m)	Y (m)	Z (m)	error(m)
point 1	5.500000	0.000000	0.580000	0.021358
point 2	0.000000	0.000000	0.000000	0.016332
point 5	5.500000	0.000000	0.000000	0.021482
point 6	15.700000	0.000000	0.000000	0.007989
point 7				
point 8				
point 15				
<b>Error total</b>				<b>0.017665</b>

**Fig. 10.10.3 Escalado y posicionamiento de fachada Oeste**



**Fig. 10.10.4 Escalado y posicionamiento de fachada Sur**

Debido a estos resultados, vamos a utilizar las restitutiones individuales por fachada para sacar los datos de las ortofotos debido a sus menores errores.

Nuestro trabajo en el Software Photoscan ha concluido. Procediendo ahora a extraer de él la información necesaria para nuestro objetivo que es el levantamiento gráfico de las fachadas del edificio.

## 11. RESULTADOS

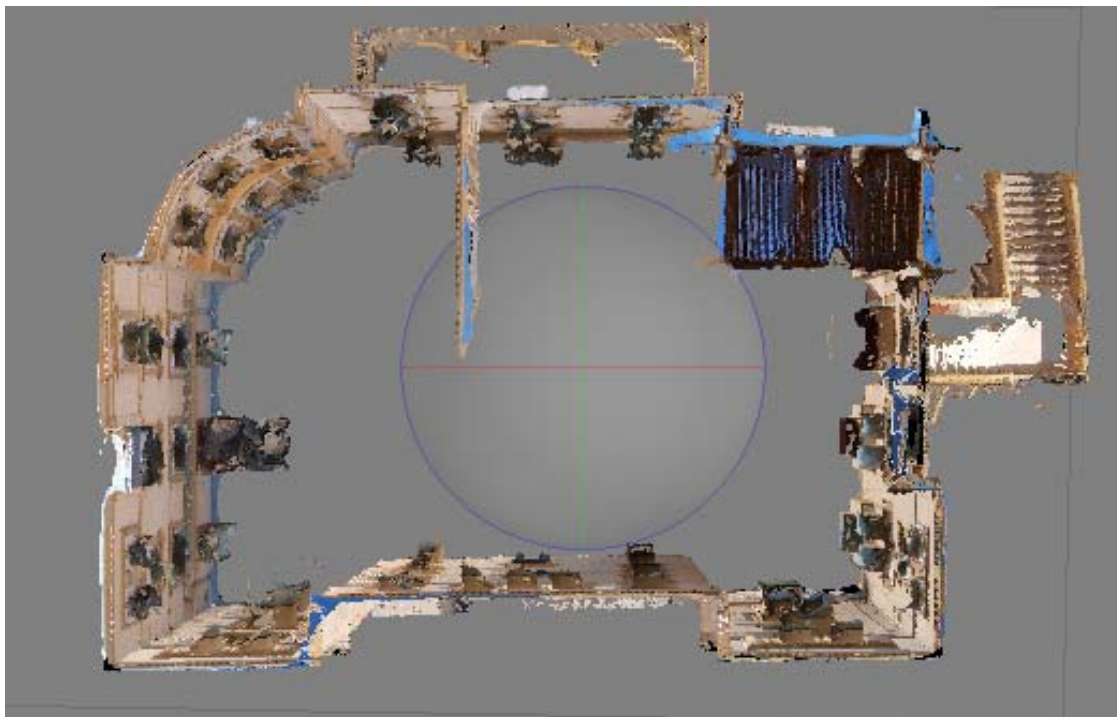
Una vez tratados los datos y completada la restitución hemos obtenido una nube de puntos situados geográficamente y unas características de color y una malla geométrica tridimensional a la que hemos dado textura mediante la obtención de la información de imágenes de las fotografías.

Y gracias a ello una serie de puntos de nuestro interés a lo que hemos podido dar coordenadas y situarlos con una tolerancia de menos de 7 cm para su conjunto y una media de 2 cm para su tratamiento por partes.

A partir de estos resultados podremos obtener principalmente dos tipos de datos. Geométricos y gráficos.

Los datos geométricos los utilizaremos para posicionar la edificación, así como nos permitirá posicionar cualquiera de sus puntos definidos en el modelo espacial, y conocer sus coordenadas, y por lo tanto sus distancias.

Por otra parte obtendremos datos gráficos, desde los que podemos apreciar espacialmente o mediante vista en proyección la edificación, o ente caso sus fachadas.



*Fig. 11.1 Vista cenital de la restitución de fachadas obtenida durante el proceso realizado*

### 11.1. ERRORES, PRECISIÓN DE LA RESTITUCIÓN

El primer resultado que vamos a obtener son las coordenadas de los 28 puntos de apoyo que hemos creado y que nos resultan en el siguiente cuadro.

MARCADOR	COORD X	COORD Y	COORD Z
escalera	3,88	27,59	2,64
escalera2	4,17	25,51	2,61
point 1	13,85	-0,06	15,69
point 2	13,81	0,02	0,002
point 3	3,26	-0,02	-0,04
point 4	3,17	-0,08	16,23
point 5	13,74	5,49	0
point 6	13,58	15,57	0
point 7	13,42	21,15	0
point 8	13,58	21,21	15,62
point 9	-1,1	4,72	0,02
point 10	-1,11	4,82	16,26
point 11	3,15	1,01	16,26
point 12	-0,25	4,75	16,22
point 13	3,25	1,11	-0,02
point 14	-0,038	4,65	-0,01
point 15	13,8	0,01	0,58
point 16	0,11	21,21	0
point 17	-0,17	21,49	11,91
point 18	-1,43	16,37	0
point 19	-1,49	16,45	11,89
point 20	6,58	27,88	2,64
point 21	-0,21	27,9	1,01
point 22	3,86	21,3	0,04
point 23	6,63	21,22	0,04
point 24	-0,26	27,95	-0,15
point 25	6,65	27,96	-0,15
point 26	6,6	21,2	4,32

***Fig. 11.1.1 Coordenadas de puntos de apoyo***

Con la obtención de estas coordenadas podríamos situar un punto cualquiera de lo que hemos obtenido en el espacio respecto o también utilizar sus coordenadas para dibujar puntos en Autocad y unirlos para conseguir la base prismática del edificio.

En este caso y dada la irregularidad de las fachadas debido a sus numerosos niveles y elementos ornamentales, esta última aplicación no tiene mucho sentido, más que para situarnos 4 puntos de referencia en los planos de delineación.

Observamos que los errores de precisión en los marcadores tampoco son realistas al 100 %, ya que la precisión de su ubicación también va a depender de la resolución que seamos capaces de afinar para colocar el marcador en un ámbito de píxeles.

En este caso y como vemos en la figura 9.2 la exactitud de la colocación puede llegar hasta los 5 píxeles, que en el mejor de los casos en la realidad y como veíamos en el apartado 4 puede ser de casi 5 mm, lo que nos da un error de posición que oscilar en los 2 cm, a los que habría que sumar el error de posicionamiento.

Aún con todo, la exactitud que conseguimos con este método en la situación de puntos y realidad geométrica de los elementos es cuanto menos sorprendente si nos fijamos en la resolución obtenida en los detalles de fotografías.



***Fig. 11.1.2 Detalle de resolución de las fotografías.***

Podríamos compararlo con la resolución que se obtiene de las ortofotos aéreas, que debido a la toma de su distancia la resolución a escalas cercanas es notablemente baja.

En definitiva, la resolución de la fotografía es lo que nos va a marcar la resolución y exactitud de nuestro modelo.



## 11.2. ORTOFOTOS

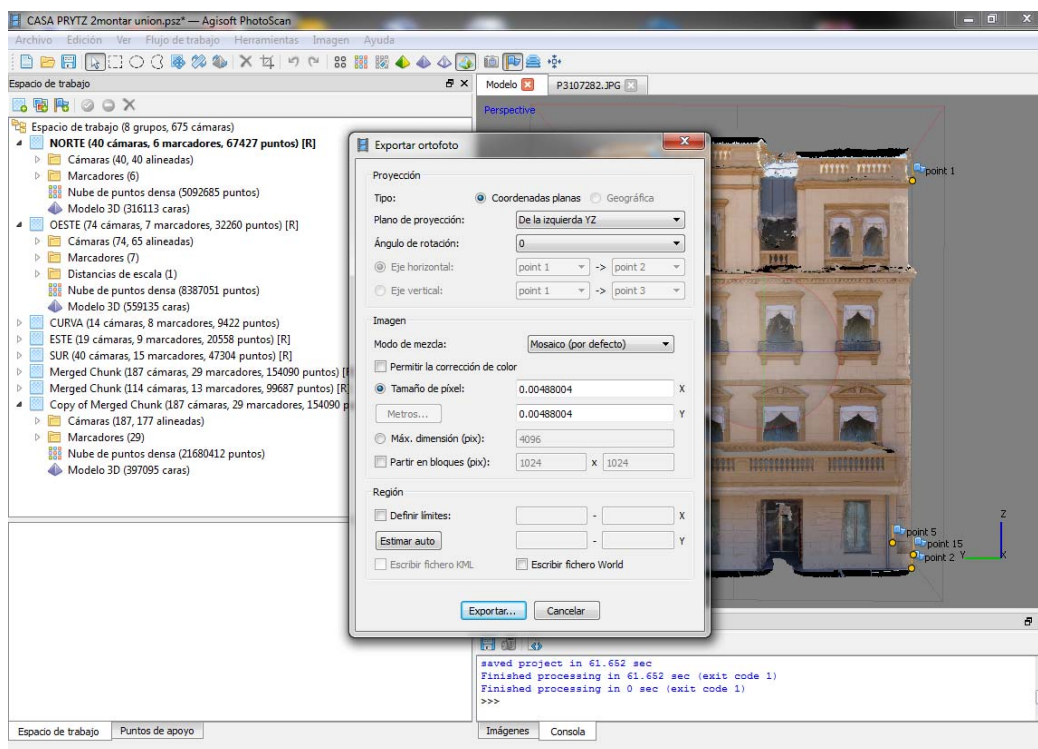
El primer elemento gráfico que vamos a extraer de nuestro modelo son las ortofotos de las 4 fachadas N, S E y O.

El programa nos da opción de exportación a varios formatos, JPG, TIF o PNG. Las extraeremos en formato jpg. para que no ocupen demasiado espacio, ya que la idea es exportarla a Autocad para dibujar o medir sobre ellas, por el que no necesitaremos los metadatos asociados de posicionamiento.

La Ortofotografía cuya etimología proviene de las palabras *orto-* del griego *ὀρθο-* (correcto, recto) y de *-grafía* del gr. *-γραφία*, (escribir)<sup>3</sup> es una presentación fotográfica en la que los elementos se representan en su proporción real, libre de errores y deformaciones.

Para obtenerla utilizamos en Photoscan la opción de exportación de Ortofoto, en la cual podremos seleccionar como vemos en la siguiente imagen el plano de fotografía deseado respecto de sus ejes (de aquí la importancia del correcto posicionamiento del modelo), su resolución en forma de tamaño de pixel y su texturización, media, por tono o por mosaico, seleccionando la que nos ha dado mejores resultados siendo mosaico.

Seleccionaremos la proyección correcta en base a los ejes de cómo hayamos orientado nuestro modelo y los datos de resolución e imagen que vienen por defecto y que son en modo mosaico que utiliza la parte adecuada de todas las imágenes y tamaño de pixel 0,0048 m para su escala real.



<sup>3</sup> Fuente Diccionario de la Real Academia Española.

***Fig. 11.2.1 Proceso de exportación de Ortofotografías***

Podemos ver a continuación comparativamente el resultado de ortofotografías obtenidas de las 4 fachadas, comprobando la precisión de los resultados.

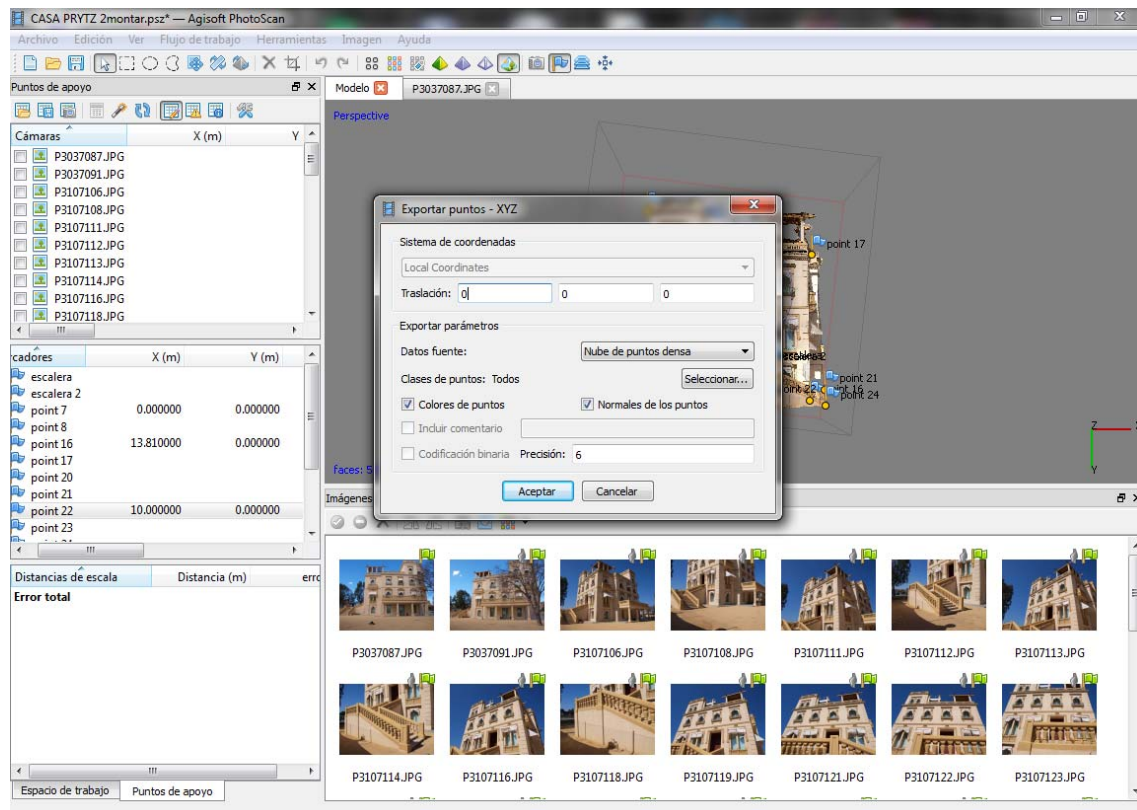
Observamos también la influencia de la luminosidad de las fotografías en los resultado finales, apreciando claramente las fachadas en contraluz (N), sobreexpuestas (SUR), con sombras (OESTE) y homogéneas (ESTE).



***Fig. 11.2.2 Esquema de resultado de luminosidad de Ortofotografías***

### 11.3. NUBE DE PUNTOS DENSA

Una vez obtenida exportamos la nube de puntos densa para editarla en programa CAD y poder dibujar las plantas y secciones de las fachadas.



**Fig. 11.3.1 Proceso de exportación de Nube de Puntos**

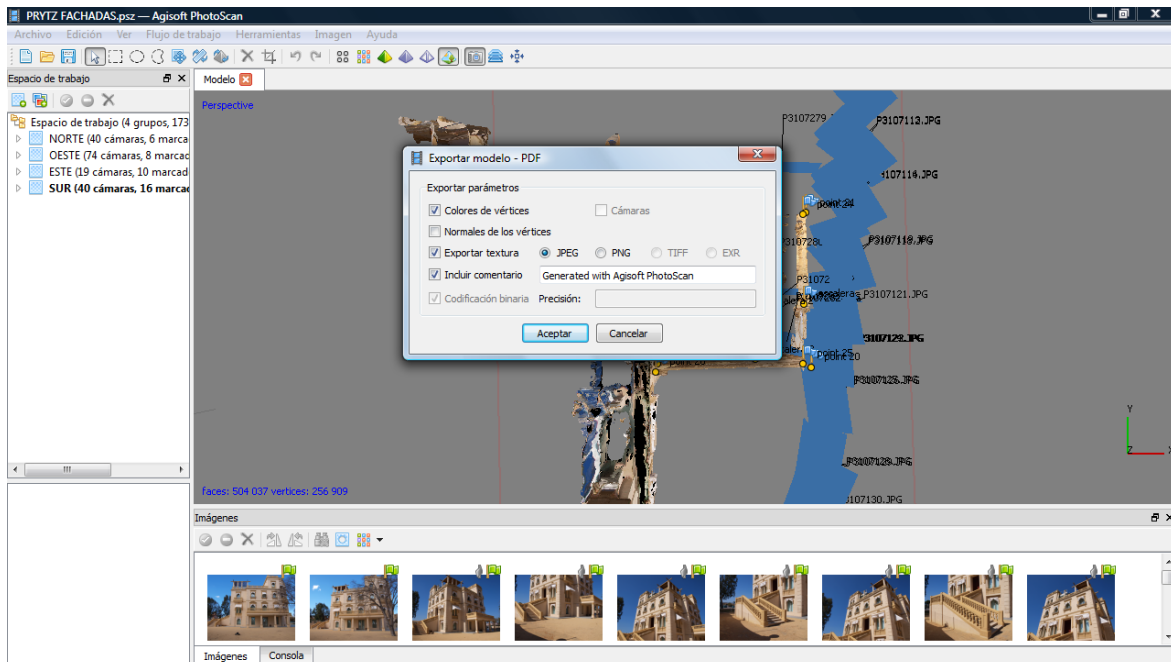
El proceso es automático desde el programa, ofreciéndonos múltiples posibilidades de formatos de exportación. En este caso utilizaremos el formato XYZ, que nos proporcionará las coordenadas de situación y color de cada punto dentro de la nube.

Las opciones nos permiten exportar la nube de puntos densa o dispersa y las coordenadas absolutas del modelo, así como si extraer o no los colores y las normales de los puntos. Vamos a seleccionar la nube densa y no vamos a considerar posición absoluta por lo que dejamos la coordenada de exportación en 0, 0,0 optando por exportar colores y normales para poseer más información en la nube.

### 11.4. MODELO TEXTURIZADO

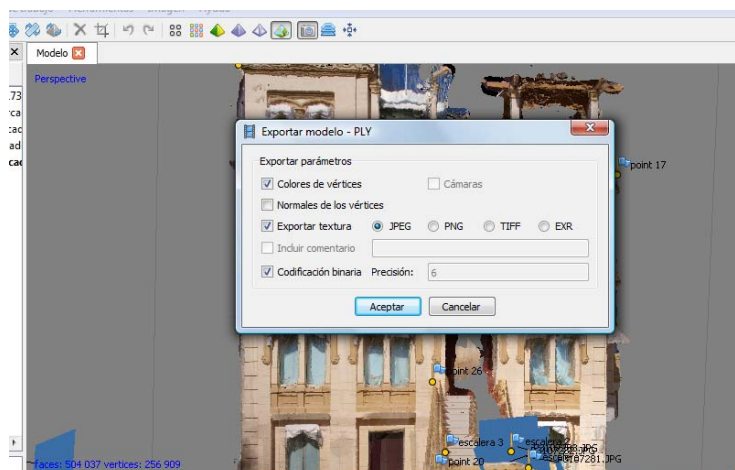
La tercera opción de la que vamos a extraer información del programa es mediante la exportación del modelo texturizado para su visión 3D.

Para ello procedemos del mismo modo anterior, exportando la malla texturizada en formato PDF y PLY, por ser éstos los más universales, el primero como visor 3D y el segundo como formato 3D universal.



**Fig. 11.4.1 Proceso de exportación de modelo en PDF**

Como vemos también tenemos opción de exportar colores, texturas y normales. Nos da opción también de codificación binaria en los formatos basado en dicha codificación, que no es el caso del PDF, pero si del PLY que también extraeremos.



**Fig. 11.4.2 Proceso de exportación de modelo en .ply**

## **12. PROCESO DE DELINEACIÓN Y OBTENCIÓN DE DOCUMENTACIÓN GRÁFICA**

Extraída la información que nos había generado Photoscan llega el momento de realizar lo que realmente pretendemos en este proyecto, apoyarnos en la fotogrametría para delinear planos de arquitectura.

Para ello vamos a realizar la inserción de las ortofotos obtenidas en los procesos anteriores y en el programa de diseño Autocad y dibujar una serie de alzados arquitectónicos de la edificación.

Una vez obtenido nuestro objetivo principal que era obtener los planos de fachadas, vamos a describir, ya que nos parece muy interesante el proceso de delineación que deberíamos seguir para la obtención de planos de planta o secciones obtenidos, esta vez, mediante las nubes de puntos obtenidas durante el proceso de restitución. Y también la obtención de modelo tridimensional para su visionado, así como la posibilidad de exportación que nos permite realizar múltiples tareas con la documentación obtenida a través de la fotogrametría.

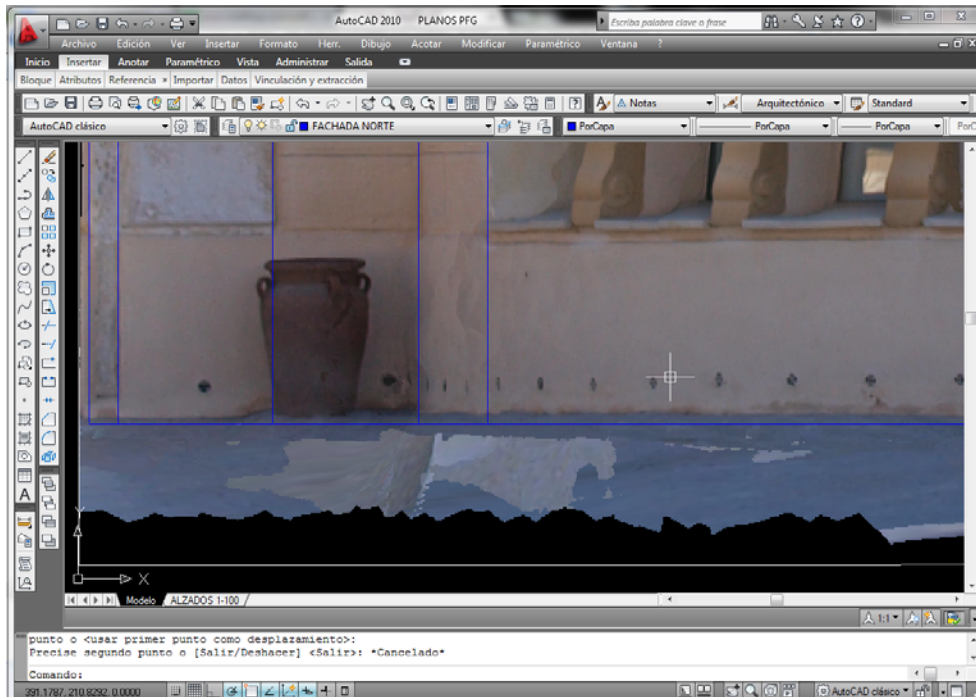
Y por último en este apartado, debemos decir que para valorar el proceso de levantamiento hemos procedido a la comparación de la documentación obtenida en este trabajo con los planos originales del Proyecto de Rehabilitación del inmueble ejecutado en 2006. Con la que podemos obtener unas interesantes conclusiones.

Todo ello desarrollado a continuación, según se muestra en los siguientes epígrafes.



### 12.1. DELINEACIÓN DE PLANOS ALZADOS DE FACHADAS SOBRE ORTOFOTOS

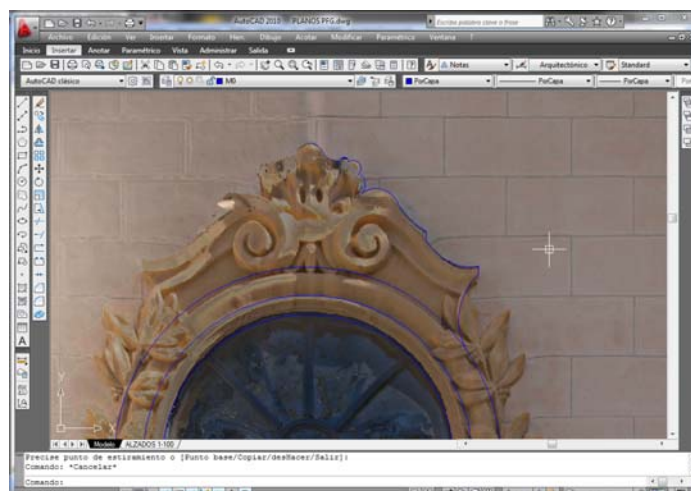
En primer lugar procedemos a insertar las ortofotos en el programa y lo que vamos a hacer es ir delineando siguiendo las aristas en verdadera magnitud proporcionadas por las ortofotos.



*Fig. 12.1.1 Delineación sobre ortofotos*

Vemos también en la siguiente figura como el grado de detalle nos va a permitir dibujar con cierta exactitud las molduras y ornamentos. Lo que no realizaremos muy detalladamente debido a la escala en la que vamos a mostrar el levantamiento que será a una escala arquitectónica 1/100.

El proceso será el mismo hasta conseguir los 4 alzados de las 4 fachadas y que se muestran en los planos Anexos.



**Fig. 12.1.1 Detalle delineación moldura**

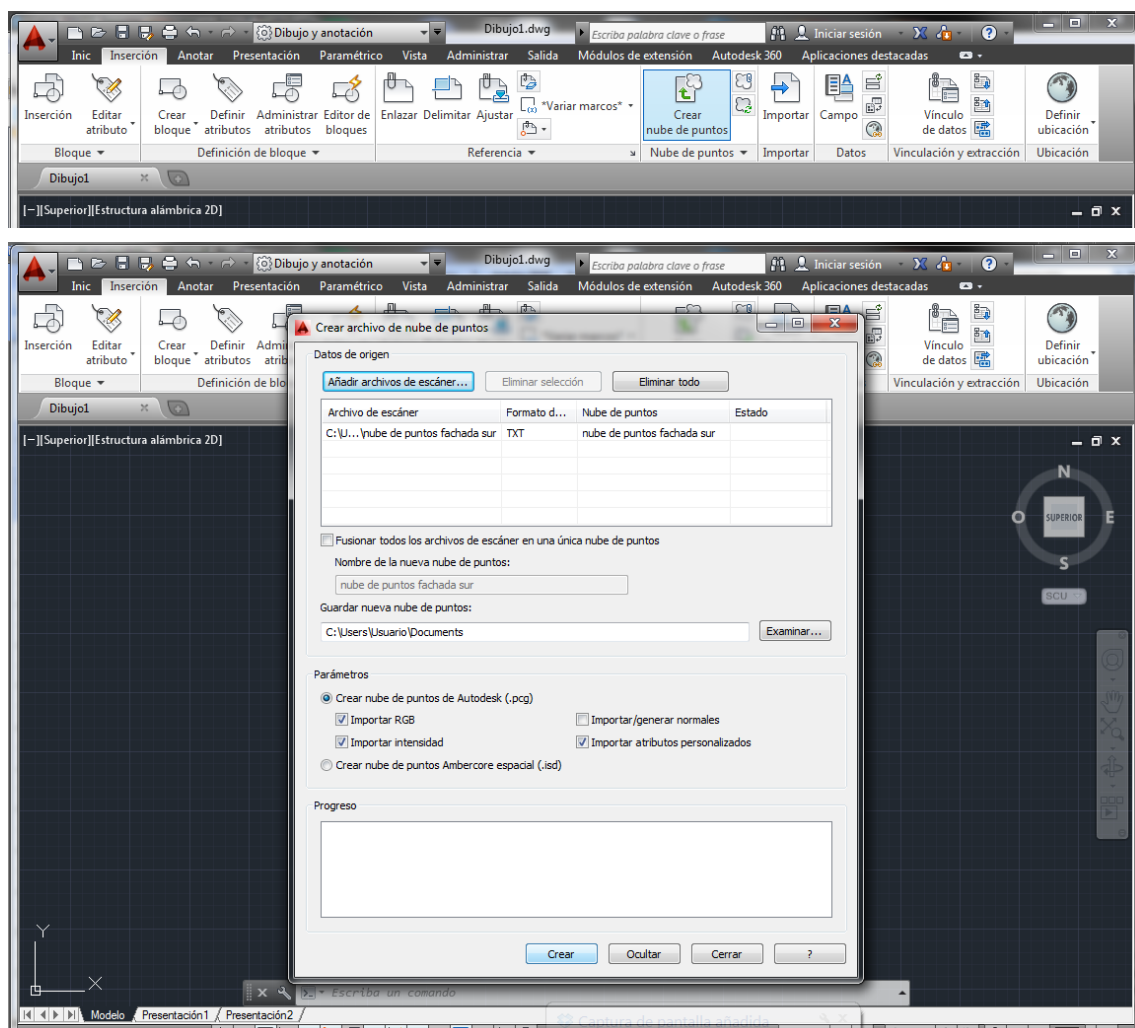
En este caso hemos procedido a la delineación de los alzados de las 4 fachadas realizados sobre las ortofotos.

Hemos realizado una presentación de tipo proyecto a una escala de 1/100 como podremos ver en la documentación anexa.

## 12.2. DELINEACIÓN DE PLANTAS Y SECCIONES SOBRE NUBE DE PUNTOS

Como segundo proceso vamos a importar la nube de puntos generada a Autocad para poder utilizar su “silueta” para mostrar el proceso con el que podríamos delinear las plantas y las secciones de fachadas.

El proceso comienza importando la nube de puntos densa a Autocad mediante su herramienta de importación implementada a partir de su versión 2013.

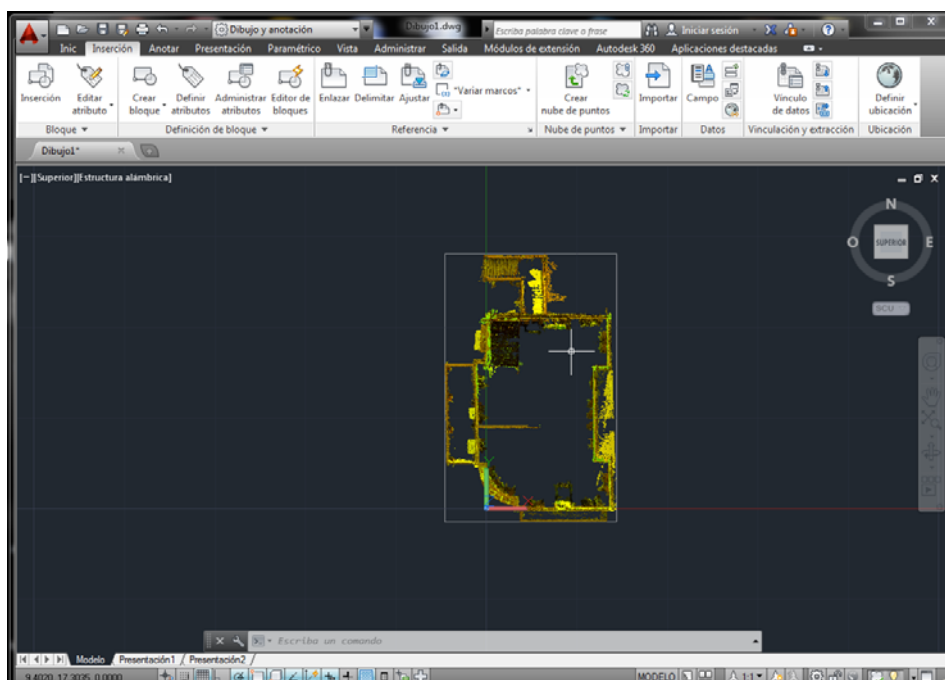
**Fig. 12.2.1 Importación de nube de puntos densa a Autocad 2014**

De la que obtendremos una nube de puntos manipulable en 3D.

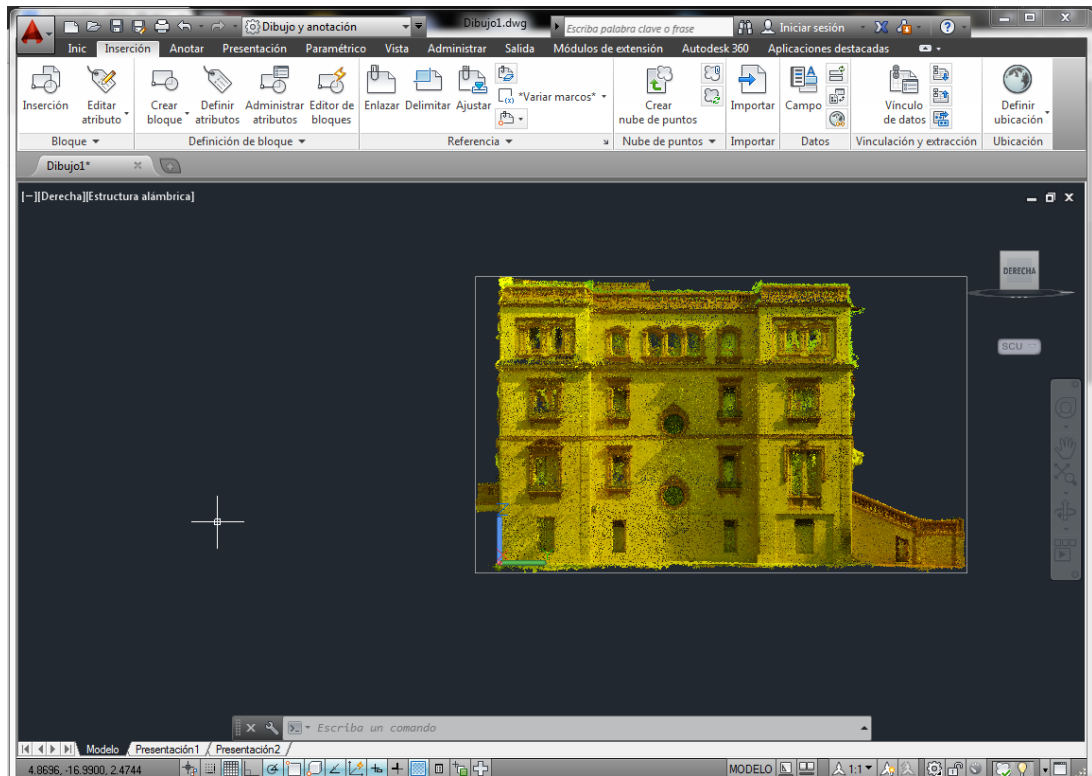
Sobre ella iremos haciendo uso de la posibilidad de vistas en proyección para obtener vistas de las plantas. En el caso de necesitar otra proyección para poder dibujar en el plano XY como va a ser el caso de las secciones de fachada recurriremos al giro de la nube de puntos sobre sus ejes hasta conseguir la posición deseada con el comando *gira3D*

Una vez posicionada la nube de puntos vemos perfectamente marcado el contorno de puntos por donde discurre la fachada. Como comprobación métrica hemos medido el ámbito del contorno de las nubes de puntos y hemos obtenido una dimensión real de 2 cm, lo que es cómo decíamos previamente para todo el proceso de restitución, un ámbito aceptable.

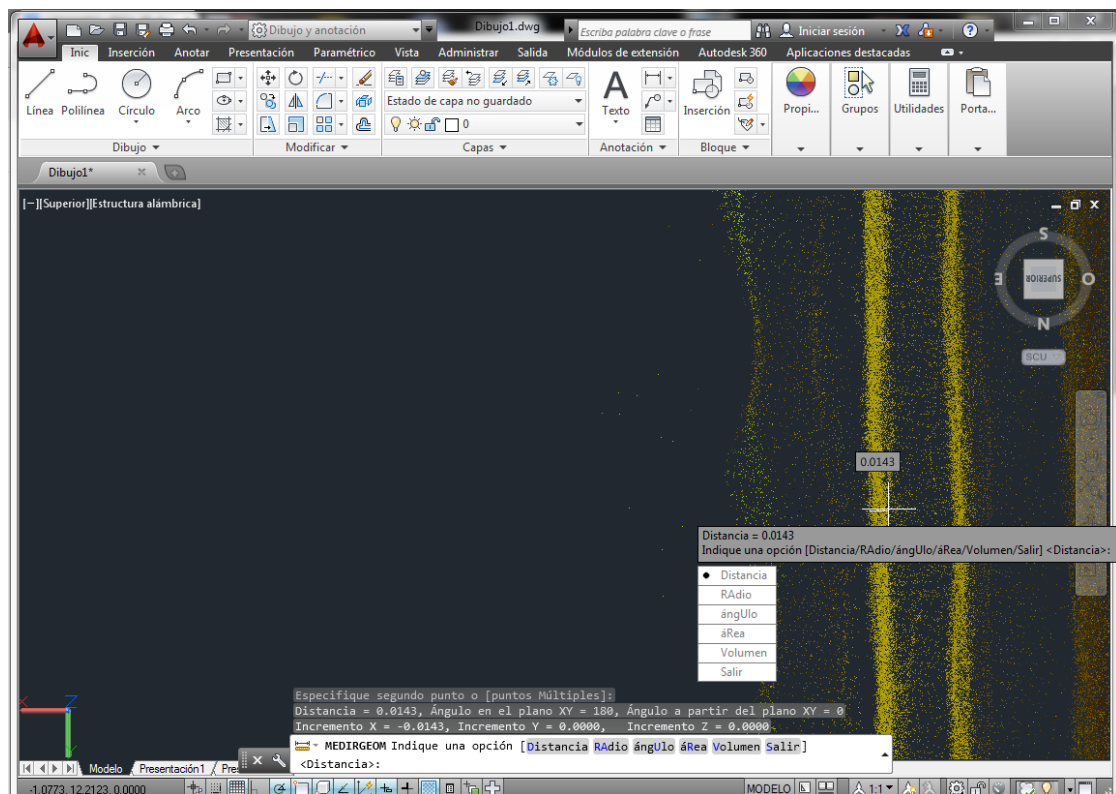
Todo lo que podemos observar gráficamente en las siguientes imágenes.



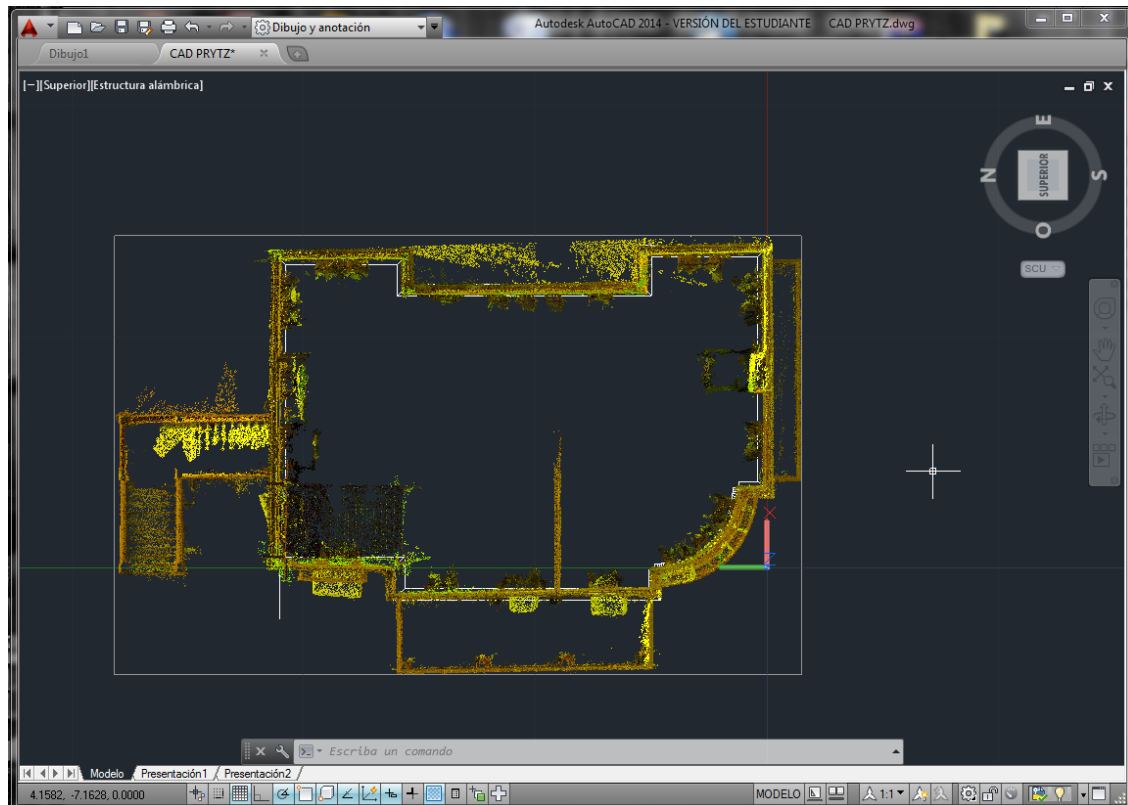
**Fig. 12.2.2 Proyección vista de la nube de puntos en planta sobre plano XY para dibujar en 2D**



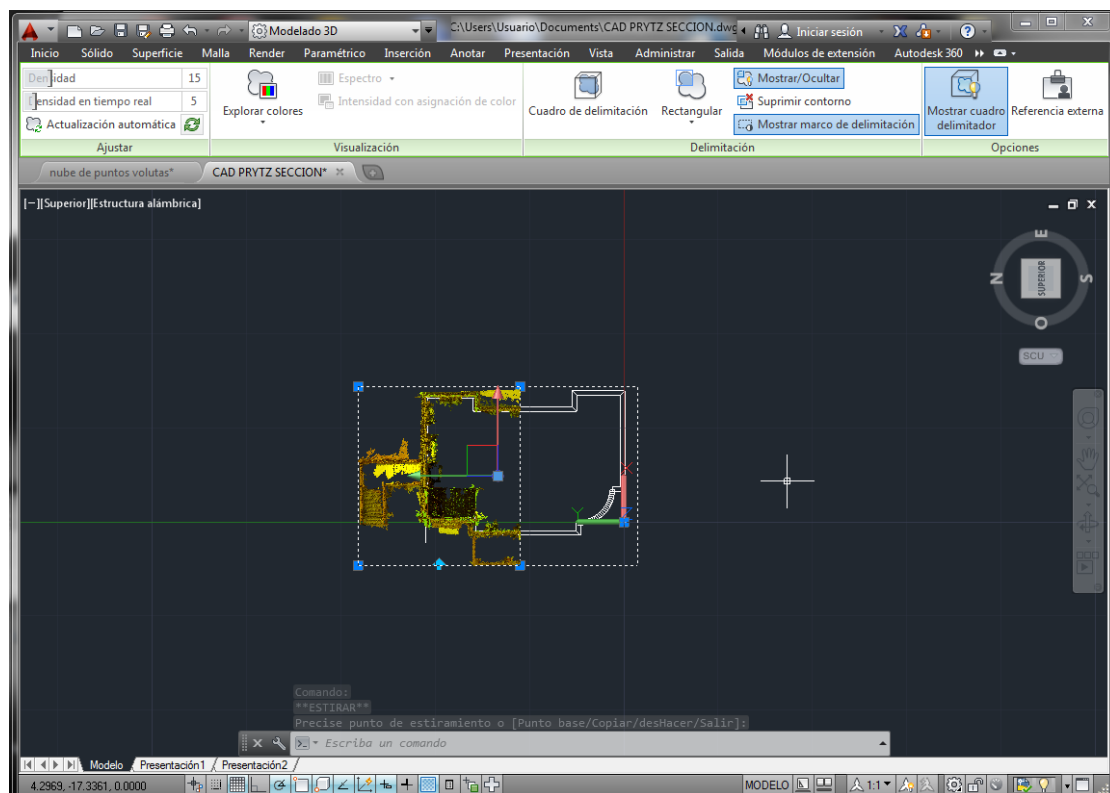
**Fig.12.2.3 Vista proyección de nube de puntos en Autocad en ejes YZ**



**Fig. 12.2.4 Contorno señalado en nube de puntos con ámbito de medida 0,014 m**

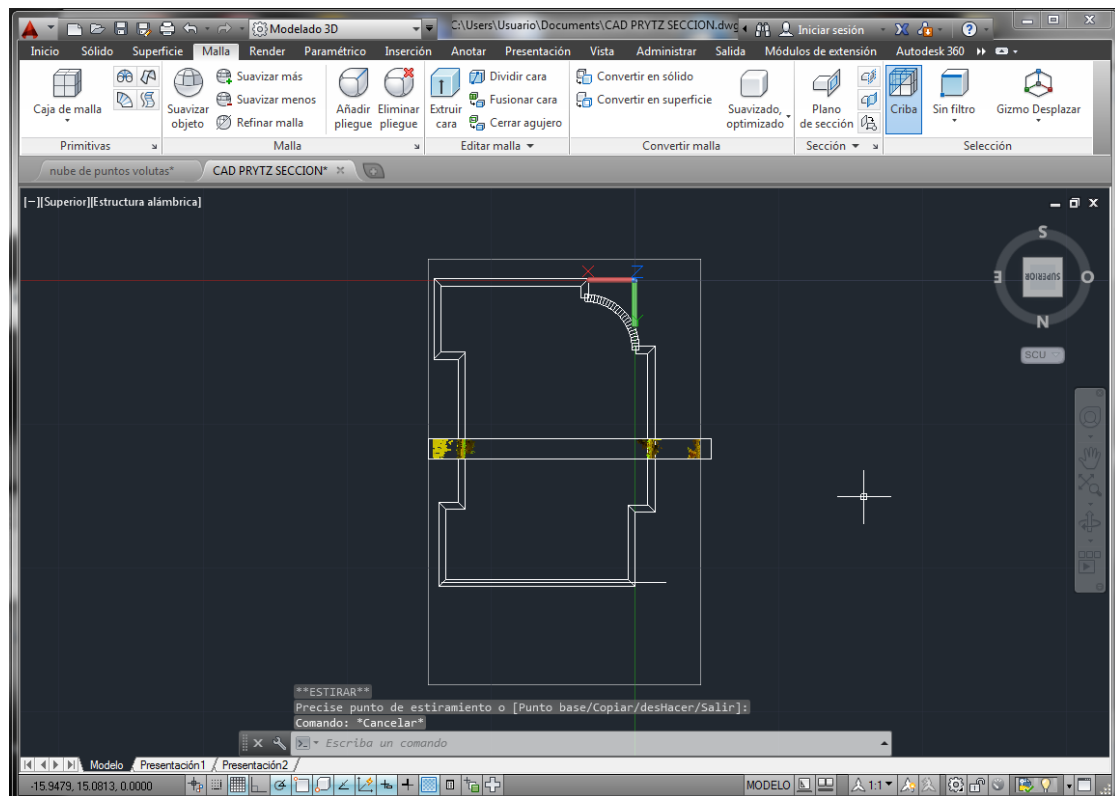


*Fig. 12.2.5 Fase de delineación de plantas sobre nube de puntos*

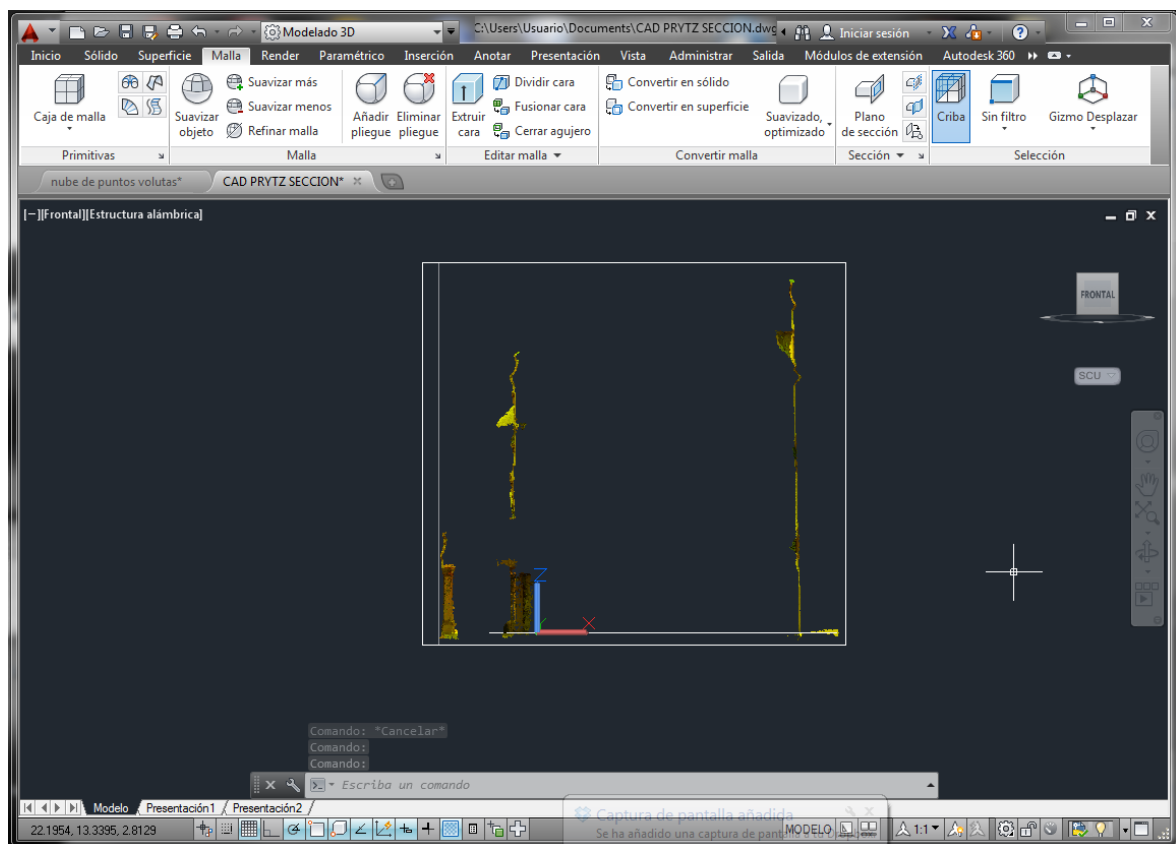


*Fig. 12.2.6 Opciones de recorte de sección de nube de puntos para ajustar a la sección deseada con el comando cuadro delimitador.*



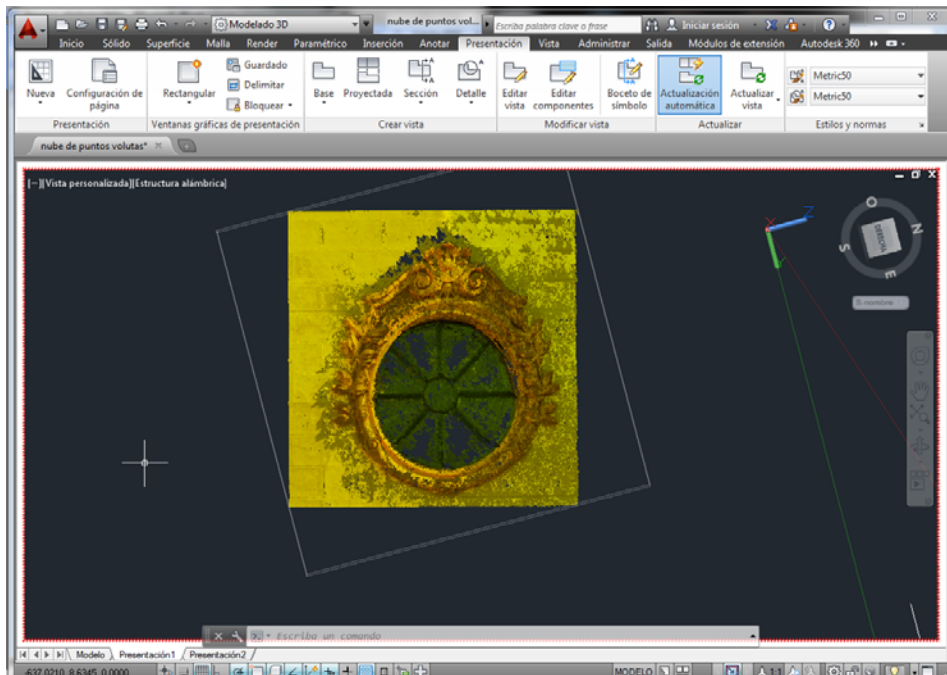


**Fig. 12.2.7 Acotamiento de la sección a dibujar**

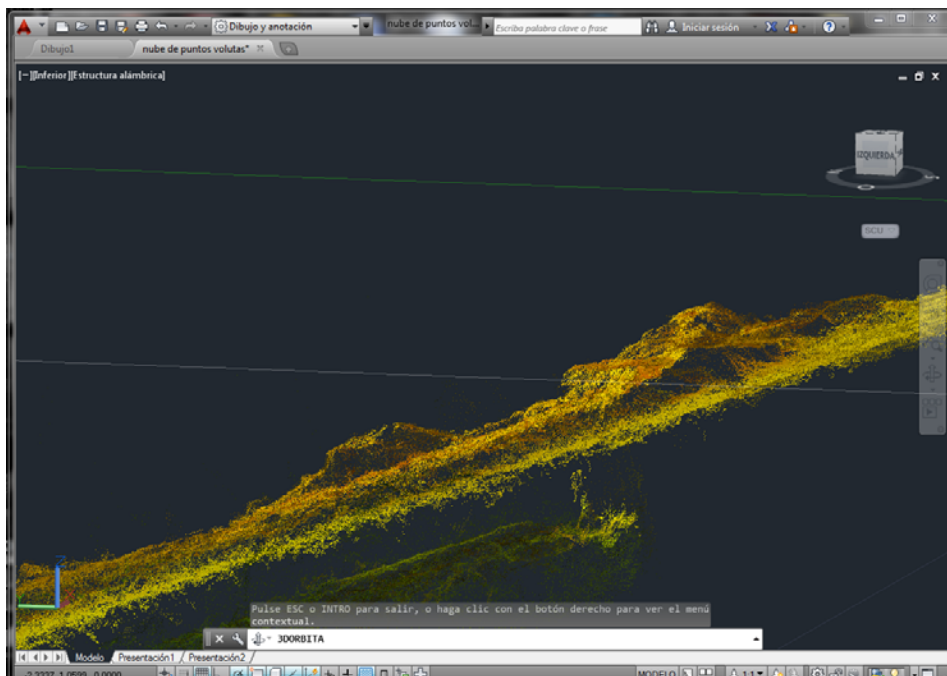


**Fig. 12.2.8 Giro de la nube de puntos sobre el plano xy y delineación**

En este caso no vamos a poder debido a la escala de resolución, pero podríamos también obtener nubes de puntos de detalles para delinearlos sobre ellos como vemos en las siguientes ejemplos de las molduras del capialzado de las ventanas de la fachada oeste y que hemos utilizado como ejemplo de detalle.



**Fig. 12.2.9 Nube de puntos de detalle importada a CAD**

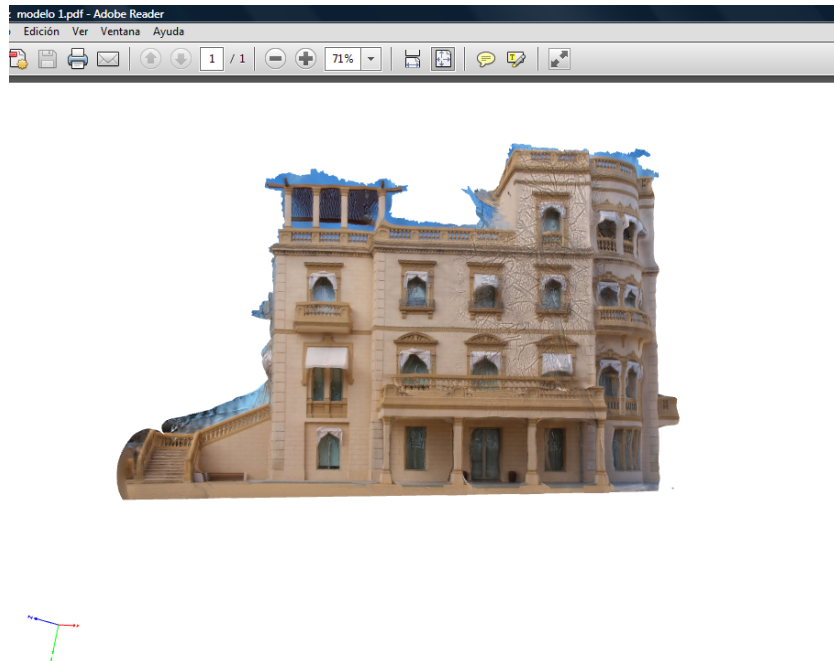


**Fig. 12.2.10 Detalle de sección de molduras en nube de puntos.**

### 12.3. MODELO PARA PRESENTACIÓN

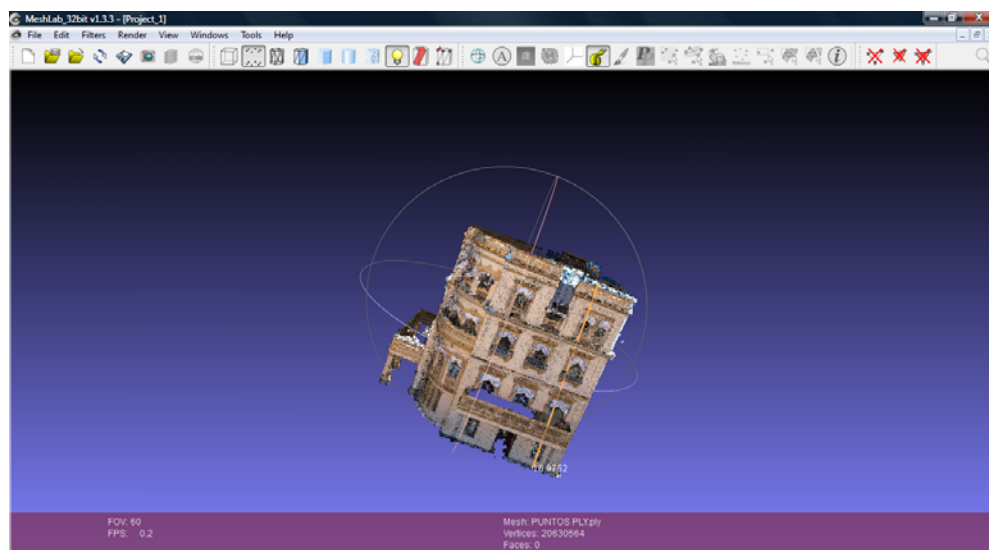
Una vez obtenida la delineación y ya que hemos realizado una restitución en 3 dimensiones vamos a conseguir representar un modelo en 3D para su catalogación y visionado digital.

En este caso lo vamos a plasmar en un plano desde diferentes vistas para dejar constancia por “escrito”. Hoy por hoy podemos acceder a visualizadores digitales 3D con gran facilidad, lo que supeditará a este formato a su visionado en ordenador.



**Fig. 12.3.1 Modelo 3D para visionado en visor estándar**

También a partir de la malla PLY exportada podremos obtener modelos 3D que visualizar en programas opensource como Meshlab en el que podremos perfeccionar y editar la malla para su visualización y medición como vemos en la siguiente ejemplo.



**Fig. 12.3.2 Visualización y medición con software Opensource Meshlab**

## 12.4. OTROS TIPOS DE POSIBILIDADES DE EXPORTACIÓN

La generación de datos con Photoscan nos permite exportar la información a numerosos formatos. No podríamos profundizar más en el tema sin extendernos demasiado, pero expondremos brevemente las posibilidades que nos ofrecen algunos de ellos.

Las posibilidades de exportación del modelo o lo que es lo mismo de la malla la podemos hacer en formatos diversos como .PDF de Adobe acrobat, formato muy extendido que nos permite ver la imagen del modelo en 3D en un lector de pdf estándar. Formatos que contienen geometría 3D, vértices, coordenadas, texturas...etc. Como el .OBJ de Wavefront, .3DS de 3D STUDIO de Autodesk, .DAT (COLLABorative Design Activity), utilizados para simulación y gráficos 3D, modelos de realidad virtual .VRT, .PLY formato utilizado para escáneres 3D que luego podremos imprimir en las cada vez más extendidas impresoras 3D. .DXF para Autocad, .FBX (filmbox) para capturas de movimiento y animaciones 3D, .U3D (universal 3D) que es el formato estandarizado para gráficos 3D o .KMZ de GOOGLE EARTH que es la compresión del KLM (Keyhole Markup Language) y que contiene datos geográficos en 3 dimensiones.

También podemos exportar la nube de puntos a algunos de estos formatos anteriores como .obj, .ply, .3du, y .pdf y a archivos nubes de punto XYZ (como hemos hecho para su exportación a Autocad) sistema basado en puntos con coordenadas y otras propiedades de puntos en archivos de texto. .LAS (Laser) que son archivos de tecnología LIDAR utilizados para datos de estaciones y sondas láser.

Podremos también generar un DEM ( digital elevation model) directamente, por lo que es un programa muy utilizado en Cartografía tanto en geo TIF, que es una imagen tiff georreferenciada, en Ortofotos y sistemas de información geográfica, XYZ y ASCII (American Standard Code for Information Interchange) que es un formato estándar para intercambio y contiene características geométricas en formato de texto y en .BIL, archivo GIS creado en formato ESRI's BIL (binary interleaved), que contiene una imagen en mapa de bits que se usa para representar superficies y elevaciones de terrenos y puede ser georreferenciada muy usado en programas GIS como Global mapper.

A parte de toda esta multitud de formatos podemos exportar Ortofotografías de todas las proyecciones ortogonales como ya dijimos tanto en geoTiff, como en .jpg y .png.

### **12.5. REPRESENTACIÓN DE RESULTADOS, DOCUMENTACIÓN GRÁFICA OBTENIDA MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA Y COMPARACIÓN CON LA OBTENIDA POR MÉTODOS HABITUALES**

Como antes comentábamos a través de la fotogrametría podemos obtener multitud de documentación en relación a un objeto, tanto geométrica como visual.

En este caso hemos utilizado la documentación obtenida, en este caso las ortofotografías, para delinear los planos de alzado de las cuatro fachadas del edificio objeto de nuestro trabajo. Y hemos obtenido también un modelo de visualización tridimensional del mismo.

A la hora de representar la consecución de nuestros objetivos se han representado en 4 planos individuales los alzados de las fachadas conseguidos (P1 a P4) a una escala de 1/100.

En el plano P22 se han representado distintas vistas del modelo tridimensional, que podemos ver completamente en su presentación en .pdf 3D

La representación de las ortofotos se realiza en planos individuales para cada fachada, plano P4 a P8.

Posterior mente se han confeccionado vistas de superposición para ver el resultado sobre su base, superponiendo los planos delineados sobre las vistas de ortofotos de fachadas en los planos P9 a P12.

Para realizar una comparación del resultado y aplicación del proceso hemos plantados unas vistas comparativas de los planos obtenidos y de los planos originales de los alzados y secciones del proyecto de Rehabilitación.



***Fig. 12.5.1 Comparativa de alzados con alzados de proyecto***



Cómo vemos en la figura anterior y reflejamos en los planos P13 a P16 comparamos los alzados obtenidos con esta técnica con los alzados de proyecto, observando las obvias incongruencias entre uno y otro. Observamos principalmente dos aspectos, los desfases en las dimensiones totales de uno y otro y sobre todo la diferencia de posicionamiento de huecos y ornamentos.

Cabe decir que aunque no se aprecie demasiado a escala arquitectónica, los desfases generales en dimensiones de fachada llegan en algunos casos hasta los 15 cm.



**Fig. 12.5.2 Comparativa de sección de la nube de puntos con plantas de proyecto**

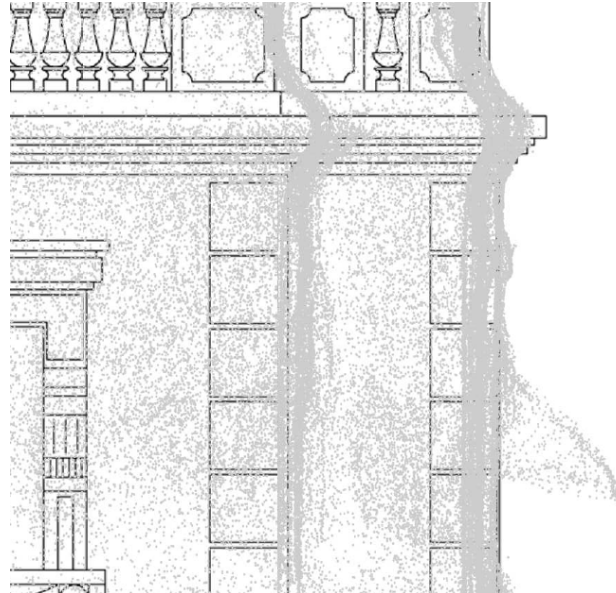
Por último para obtener conclusiones hemos procedido a la comparación de los planos originales con las vistas obtenidas en la generación del modelo tridimensional. En ella analizamos la sección generada por la nube de puntos obtenida con la planta registrada. Este paso se realiza con el fin de analizar el método más que como objetivo de levantamiento, de ahí que no se hayan dibujado plantas ni secciones en este trabajo, limitándonos a la obtención de los alzados de las fachadas. Plasmando así el proceso a seguir en el caso de que realicemos trabajos de restitución similares a éste y precisemos de más información.

Cómo vemos en la figura 12.5.2 el grueso de la delimitación de la nube de puntos y los planos coinciden significativamente, observando también dos factores importantes. Por un lado los desfases que están al igual que en los alzados en un máximo de 15 cm aproximadamente, y por el otro la rara ortogonalidad producida por las fachadas. Observamos el giro producido en la fachada Oeste con respecto a sus fachadas tangentes. Y observamos también girada sobre la horizontal la fachada este, aunque en menor medida.

Representaremos en los planos P18 a P21 las secciones por cada una de las 4 plantas del edificio.

Por último hemos querido comparar la vista de la nube de puntos con los planos existentes, con el fin de analizar su utilidad en la realización de alzados, como vemos en la siguiente figura y reflejado en el plano P23 la nube de puntos no nos genera una imagen lo suficientemente contrastada de las fachadas en alzado

siempre que tengamos una cierta textura en la nube como la obtenida por el propio programa Photoscan o la que nos proporciona Autocad al tratar la nube de puntos (ver figuras en capítulo 12.2) Proporcionando también la definición de sus contornos, aunque en estos casos su precisión se verá relacionada directamente con la escala y calidad de la nube de puntos que seamos capaces de obtener en el proyecto, ya que como vemos en la siguiente imagen esta escala no nos permitiría obtener por ejemplo unas secciones o contornos detallados para las molduras de fachada.



***Fig. 12.5.3 Detalle de la comparativa de sección de la nube de puntos con alzados de proyecto***

Después de todo un proceso de exploración de las posibilidades del software Photoscan y de su aplicación para el apoyo a la delineación de las fachadas de un edificio histórico hemos alcanzado a la consecución de la documentación gráfica que se muestra en el los Anexos.

Y con esta representación finaliza el proceso de levantamiento del que era objetivo este trabajo y su comparación con planos delineados tradicionalmente. De todo ello podremos obtener las conclusiones que enumeraremos a continuación.

### 13. CONCLUSIONES

#### 13.1. LA FOTOGRAMETRÍA

Podemos concluir que la utilización de las técnicas desarrolladas y que hoy por hoy están al alcance de cualquiera, en este caso la fotogrametría puede suponer un gran avance en el campo de la arquitectura, facilitando el trabajo de gabinete y aportándonos numerosa información realista para conseguir un resultado óptimo en nuestros servicios profesionales.

En este caso hemos conseguido con unas pequeñas notas, cámara réflex estándar, un equipo informático de gama media y una licencia de software una valiosa representación gráfica perfectamente válida para la realización de levantamientos arquitectónicos a mediana escala.

#### 13.2. EL PROCESO DE TRABAJO

Podemos establecer unas premisas, después de trabajar durante muchas horas con las cámaras y software fotogramétrico, para intentar conseguir la mayor efectividad en este tipo de trabajo, esperando que sirvan de guía para futuros trabajos, en los que consigamos no dominar, pero sí interiorizar la técnica que mejor se adecue a nuestros objetivos y formas de proceder basándonos en los siguientes principios:

- a. La clave de la técnica está en el trabajo de campo. Por lo que debemos tener muy claro cuál es nuestro objetivo antes de proceder a realizar un levantamiento mediante técnicas de fotogrametría. Los resultados han sido muy aceptables teniendo en cuenta el poco rigor en nuestra toma de datos, fotografías en condiciones no óptimas y pocas medidas de comprobación.
- b. Si deseamos obtener buenas imágenes, debemos partir de buenas fotografías, con la máxima resolución posible y con buenas condiciones de iluminación. Por lo que necesitamos dominar la técnica fotográfica en la medida de los parámetros que afectan directamente a nuestro cometido, encuadre, longitud focal, profundidad de campo, resolución y nitidez máxima de las tomas, según las necesidades de detalle y la escala que pretendamos conseguir. Para conseguir la máxima precisión geométrica, necesitaremos apoyarnos en otros sistemas de medición como taquímetros, niveles, estaciones, etc.
- c. Si deseamos obtener precisión métrica, debemos obtener al menos 4 puntos lo suficientemente distanciados (al menos 1 metro) de cada plano de fachadas para conseguir una correcta orientación.
- d. Para una correcta orientación es necesario que cada punto a generar a aparezca en al menos 3 fotografías, lo que deberemos tener en cuenta al utilizar máscaras para ocultar objetos.
- e. Cuantas más fotografías más resolución de nube de puntos obtendremos, pero más difícil será encajar el proceso de orientación.
- f. Es necesario estudiar previamente las edificaciones, accesibilidad, obstáculos, dimensiones y programar las tomas.

- g. Podremos conseguir fácilmente un completo modelado tridimensional, para tratamiento e impresiones 3D, para lo que necesitaremos una buena cantidad y calidad de datos fotográficos y un equipo potente para que la restitución resulte con la mayor calidad posible.

Con el trabajo realizado puedo decir que en este caso se ha pretendido obtener un método fácil y efectivo de conseguir herramientas para el soporte del levantamiento gráfico de elementos arquitectónicos.

Se han tomado las fotografías con las mejores condiciones proporcionadas por métodos que podemos tener al alcance de nuestras manos dentro del día a día de nuestra profesión de arquitectos técnicos. El llevar encima una cámara fotográfica y cinta métrica es una premisa en nuestras salidas a obra o a tomas de datos lo que hemos conseguido con ellas en este caso es un modelo métrico aceptable sobre el que poder apoyarnos para realizar la delineación de planos en gabinete.

### **13.3. LOS RESULTADOS Y LA PRECISIÓN DE LOS MISMOS**

Gracias a nuestro trabajo podemos concluir que en cuanto a la precisión de este método a la hora de su utilización e levantamientos:

- a. Podemos afirmar que los planos en proyectos de rehabilitación de edificaciones existentes y que se levantan a través de métodos tradicionales de croquizado y toma de medidas van a conferir el mismo error en cuanto a dimensiones que el que podemos conseguir mediante este método, a igualdad de rigor en la toma de medidas.
- b. Los errores han ido incrementándose conforme ampliamos el ámbito del trabajo, obteniendo menores errores en fachadas tratadas por separado (de hasta 5 cm) que en el conjunto de las fachadas (hasta 10 cm) un 4%. Lo que obviamente es normal, cuanto más complejo sea el volumen a restituir, más errores producirá, por lo que en estos casos es preferible tratar los elementos que se puedan subdividir por separado en casos de necesidad de precisión geométrica.
- c. Los errores de dimensiones totales obtenidos en este trabajo no serían aceptables en un trabajo profesional. Probablemente debido a la poca toma de medidas iniciales, ya que se han tomado una medida de longitud por fachada únicamente. Dada la complejidad del volumen deberíamos haber realizado algunas tomas de medida más, o en el caso de precisar cierto rigor contar con herramientas extra de medición, una mañana con una estación topográfica hubiera bastado.
- d. Una grandísima ventaja de este método es el poder posicionar con precisión los huecos y elementos singulares de las fachadas, prácticamente inaccesibles en estos casos.

Por último podemos decir que este método de levantamiento gráfico no es ni mucho menos un proceso automático de toma de fotografías en que el software dibuje planos automáticamente, pero sí que podemos obtener, y es lo que hemos conseguido aquí, un material riguroso sobre el que basar nuestra delineación, dependiendo la rigurosidad directamente de lo rigurosos que seamos en el proceso de toma de datos.

Concluyendo que consiguiendo una buena experiencia, rigor y metodología, la fotogrametría es un excelente método para el apoyo en levantamiento de planos y para conseguir un modelo de edificaciones con las que poder hacer más introspección y comprender tanto para el proyectista como para los agentes implicados en el proceso un proyecto de rehabilitación.



## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

### LIBROS

- BROWN, C. Wayne *Graphics file formats: reference and guide*. (1995). Greenwich. Ed. Manning. ISBN: 1-884777-00-7
- CÁMARA, Leandro. *Fotogrametría arquitectónica: fundamentos y aplicaciones*. En: *La intervención restauradora en la arquitectura asturiana. Románico, gótico, renacimiento y barroco*. Oviedo: Universidad de Oviedo, 1999, ISBN 84-8317-154-6
- CUELI LÓPEZ, Jorge Tomás (2011). *Fotogrametría práctica (tutorial Photomodeler)*. Ediciones Tantín; 2011; I.S.B.N. 978-84-96920-93-4
- PÉREZ ÁLVAREZ, Juan A. *Apuntes de fotogrametría II*. Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Mérida, Ingeniería Técnica en Topografía, 2001.
- PÉREZ JIMÉNEZ, Rafael. *Buena Vista: Notas para la crónica de un establecimiento provincial*. (2011). Ed. Diputación Provincial de Alicante. ISBN: 978-84-96979-87-1
- SANTANA CRUZ, Jaime. *La fotogrametría digital en el levantamiento de planos de edificios*. En: *Informes de la construcción*, vol. 55, nº 488, noviembre-diciembre 2003, p. 31-40.

### PROYECTOS

- MARÍ MELLADO, Antonio y PÉREZ JIMÉNEZ, Rafael. *Proyecto de Rehabilitación de Casa Prytz para centro de Atención a la Familia*. Año 2005.

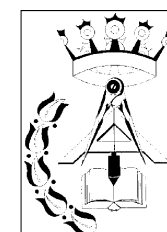
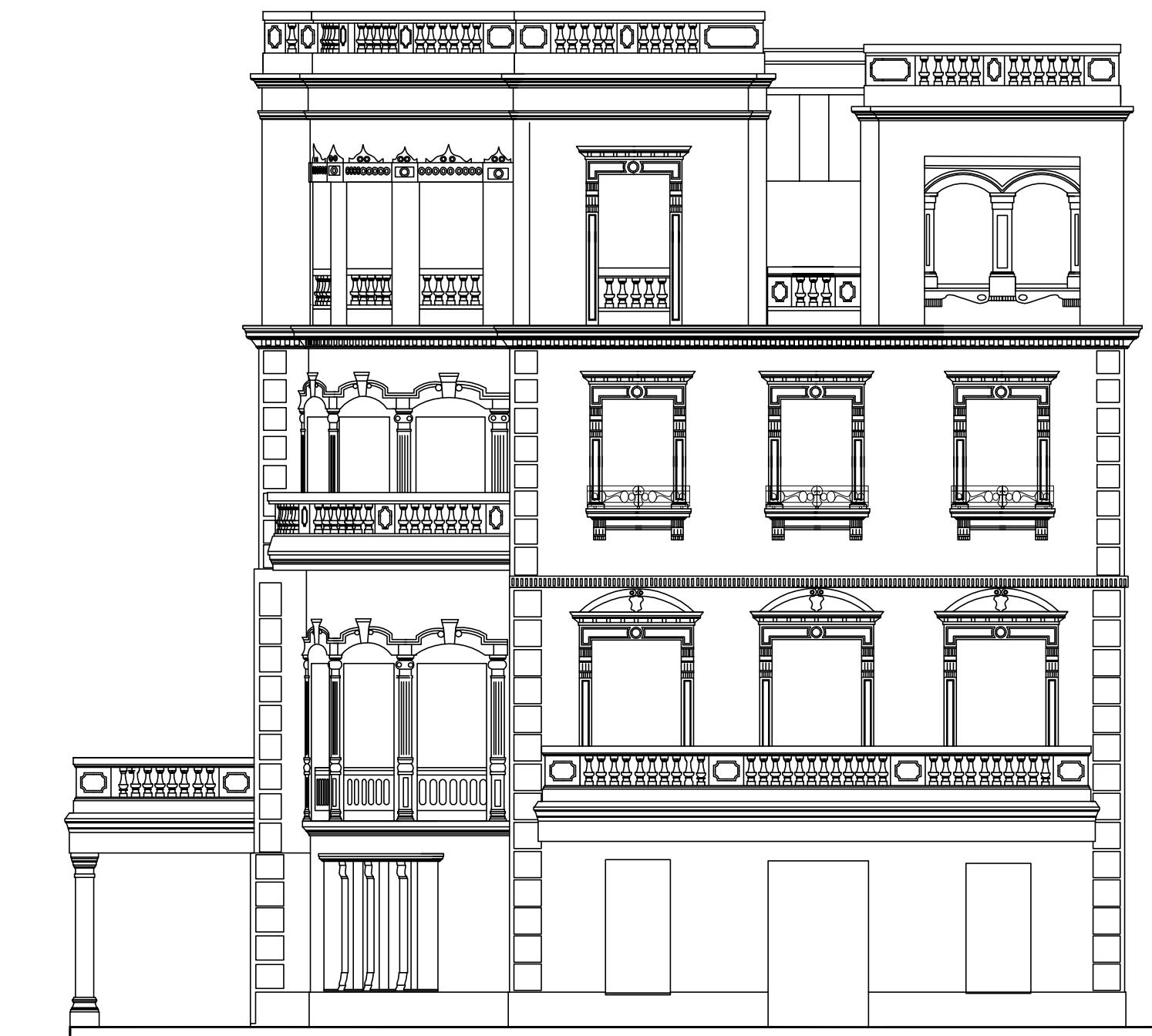
### RECURSOS ELECTRÓNICOS

- Manual de Instrucciones Olympus E420.  
[http://www.olympus.es/site/rmt/media/consumer/pim/\\_manuals\\_ss2009\\_/E-420\\_MANUAL\\_ES..pdf](http://www.olympus.es/site/rmt/media/consumer/pim/_manuals_ss2009_/E-420_MANUAL_ES..pdf)
- Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.0.0. (2013). Agisoft LLC.  
[http://downloads.agisoft.ru/pdf/photoscan-pro\\_1\\_0\\_0\\_en.pdf](http://downloads.agisoft.ru/pdf/photoscan-pro_1_0_0_en.pdf)
- <http://www.fileinfo.com/>
- <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/CAPITULO1.pdf>
- <https://www.google.es/maps/@38.3913404,-0.4388803,91a,35y,10.41h,38.94t/data=!3m1!1e3> (maps google) elevado
- <http://terrasit.gva.es/es/ver>

**ANEXO I PLANOS**

P01 ALZADO FACHADA NORTE
P02 ALZADO FACHADA ESTE
P03 ALZADO FACHADA SUR
P04 ALZADO FACHADA OESTE
P05 ORTOFOTO FACHADA NORTE
P06 ORTOFOTO FACHADA ESTE
P07 ORTOFOTO FACHADA SUR
P08 FACHADA OESTE
P09 ORTOFOTO SOBRE ALZADO FACHADA NORTE
P10 ORTOFOTO SOBRE ALZADO FACHADA ESTE
P11 ORTOFOTO SOBRE ALZADO FACHADA SUR
P12 ORTOFOTO SOBRE ALZADO FACHADA OESTE
P13 COMPARATIVA ALZADO NORTE CON ALZADOS PROYECTO DE REHABILITACIÓN
P14 COMPARATIVA ALZADO ESTE CON ALZADOS PROYECTO DE REHABILITACIÓN
P15 COMPARATIVA ALZADO SUR CON ALZADOS PROYECTO DE REHABILITACIÓN
P16 COMPARATIVA ALZADO OESTE CON ALZADOS PROYECTO DE REHABILITACIÓN
P17 ESQUEMA SECCIONES DE PLANTA SOBRE NUBE DE PUNTOS GENERADA
P18 COMPARATIVA PROYECTO DE REHABILITACIÓN CON SECCIÓN DE NUBE DE PUNTOS - PLANO PLANTA BAJA
P19 COMPARATIVA PROYECTO DE REHABILITACIÓN CON SECCIÓN DE NUBE DE PUNTOS - PLANO PLANTA PRIMERA
P20 COMPARATIVA PROYECTO DE REHABILITACIÓN CON SECCIÓN DE NUBE DE PUNTOS - PLANO PLANTA SEGUNDA
P21 COMPARATIVA PROYECTO DE REHABILITACIÓN CON SECCIÓN DE NUBE DE PUNTOS - PLANO PLANTA CUBIERTA
P22 VISTAS MODELO TRIDIMENSIONAL
P23 COMPARATIVA PROYECTO DE REHABILITACIÓN CON SECCIÓN DE NUBE DE PUNTOS – ALZADO SUR

**ANEXO II MODELO TRIDIMENSIONAL****ANEXO III INFORME GENERADO EN PHOTOSCAN**



UNIVERSIDAD DE ALICANTE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE

ALUMNO:

PLANO:

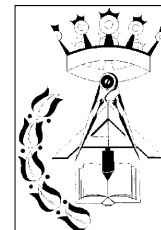
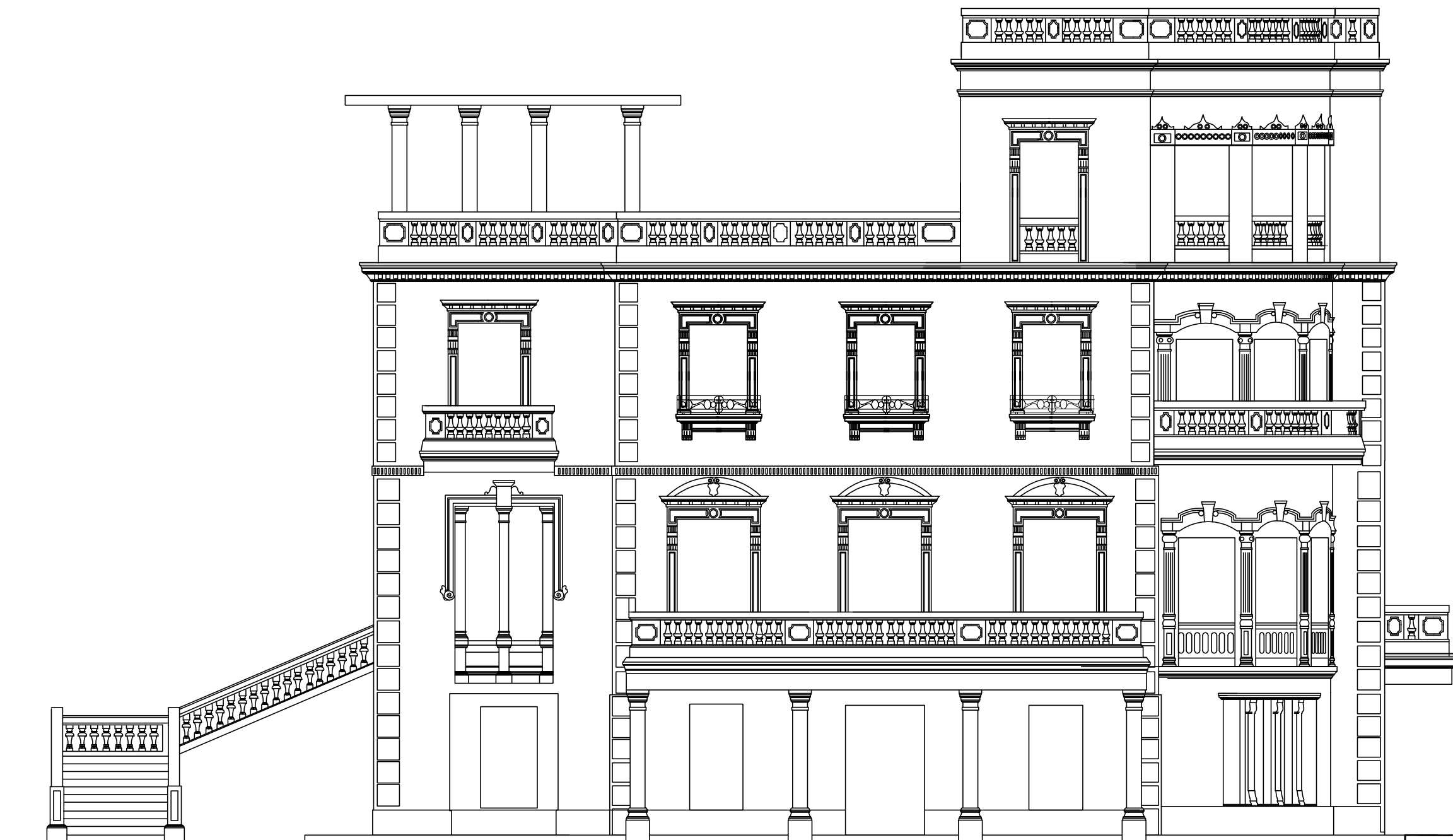
FECHA: SEPT. 2014

ALZADO FACHADA NORTE

ESCALA: 1/100

CARMEN SANTOS MAESTRE

PLANO N°: 01



UNIVERSIDAD DE ALICANTE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE

ALUMNO:

PLANO:

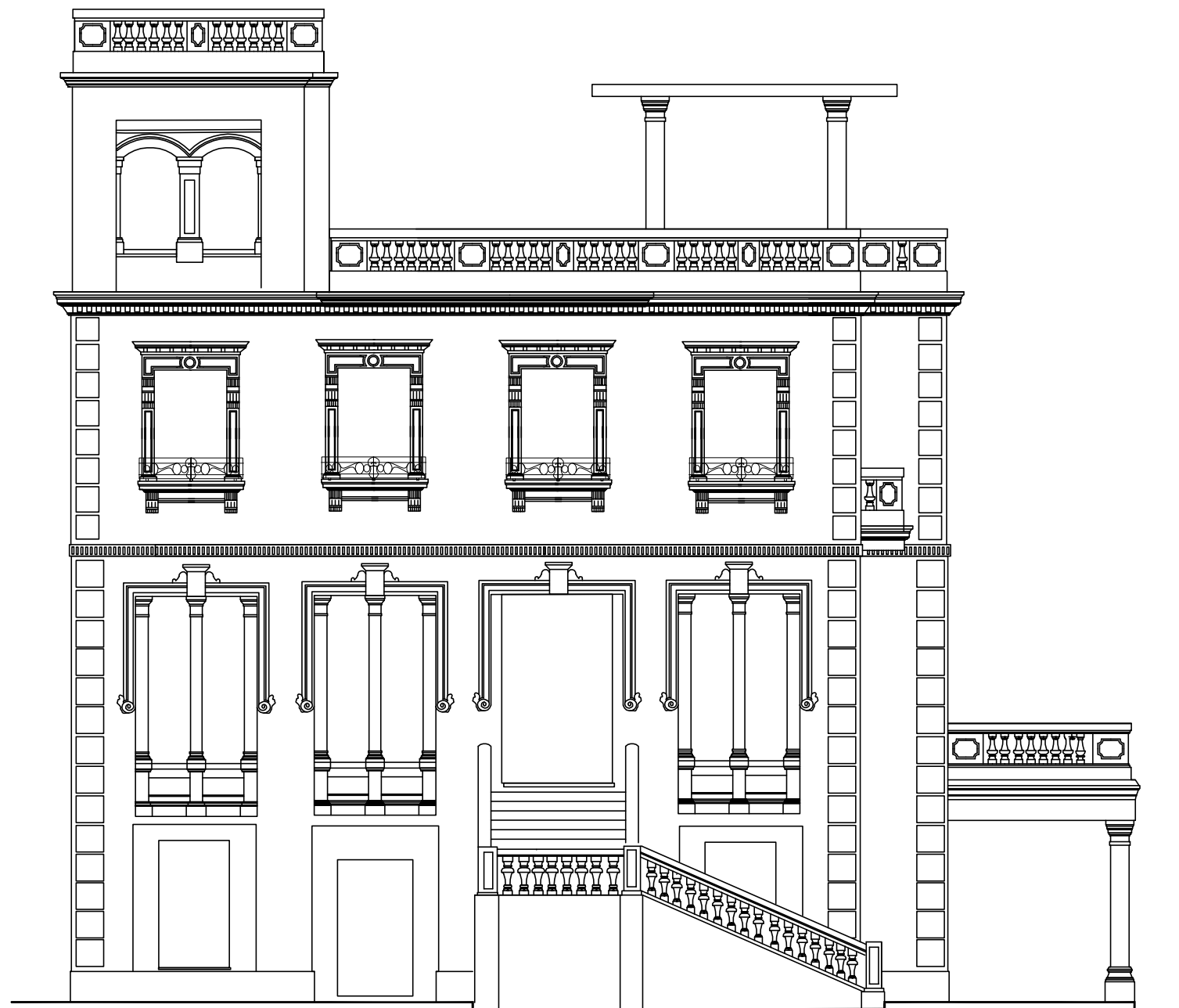
FECHA: SEPT. 2014

ALZADO FACHADA ESTE

ESCALA: 1/100

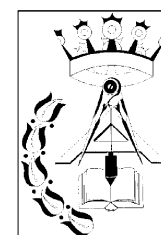
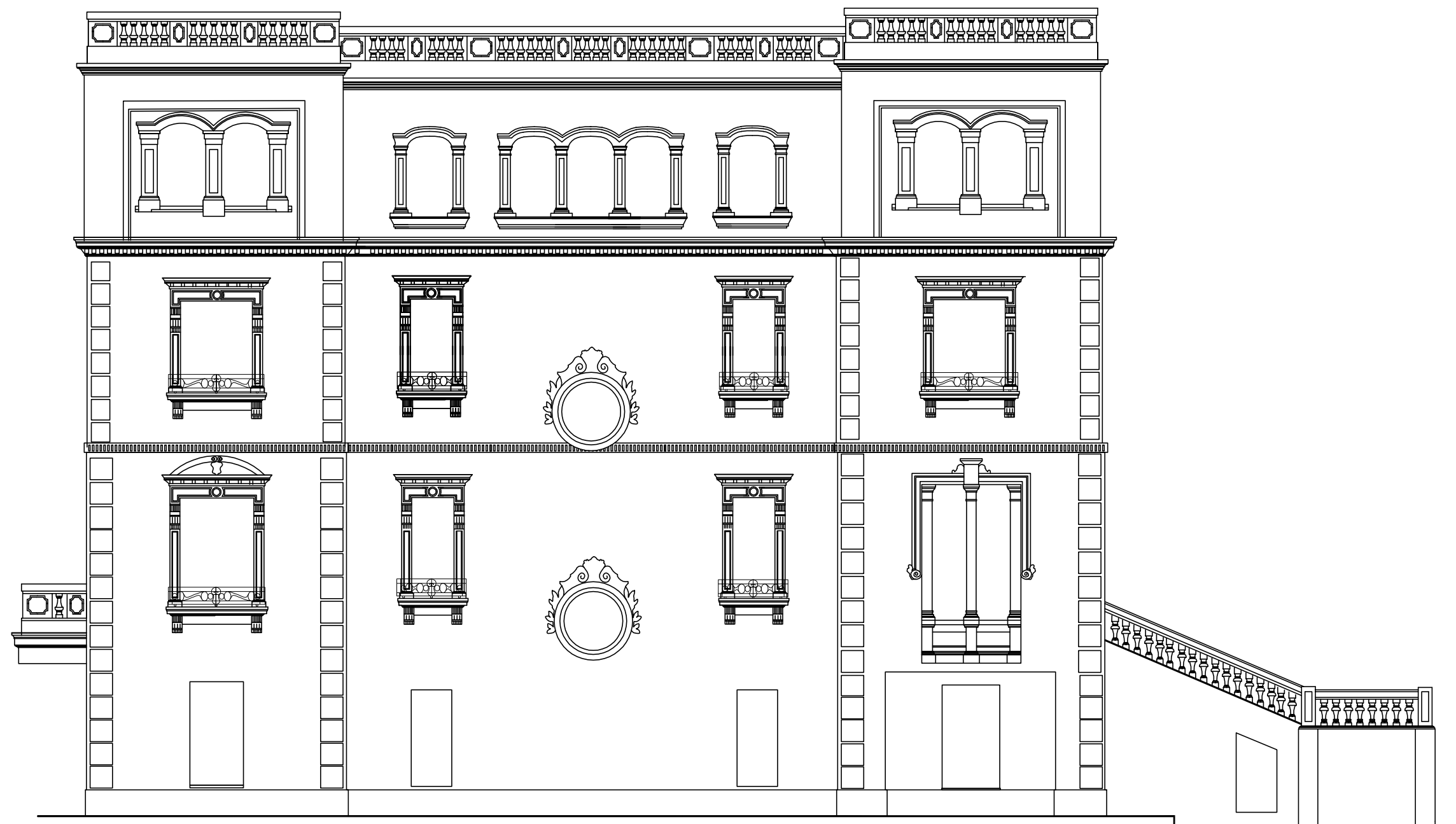
CARMEN SANTOS MAESTRE

PLANO N°: 02



	UNIVERSIDAD DE ALICANTE		
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR		
	LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE		
	ALUMNO:	PLANO:	FECHA: SEPT. 2014
CARMEN SANTOS MAESTRE		ALZADO FACHADA SUR	ESCALA: 1/100
			PLANO N°: 03





**UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE**

ALUMNO:

PLANO:

FECHA: **SEPT. 2014**

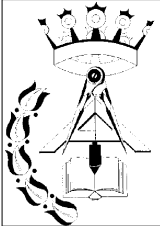
**ALZADO FACHADA OESTE**

ESCALA: **1/100**

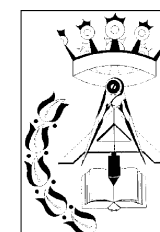
**CARMEN SANTOS MAESTRE**

PLANO N°: **04**



	<b>UNIVERSIDAD DE ALICANTE</b>		
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR		
	<b>LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE</b>		
	ALUMNO:	PLANO:	FECHA: <b>SEPT. 2014</b>
<b>CARMEN SANTOS MAESTRE</b>	<b>ORTOFOTO FACHADA NORTE</b>		ESCALA: <b>1/100</b>
			PLANO N°: <b>05</b>





**UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE**

ALUMNO:

**CARMEN SANTOS MAESTRE**

PLANO:

**ORTOFOTO FACHADA ESTE**

FECHA: **SEPT. 2014**

ESCALA: **1/100**

PLANO N°: **06**

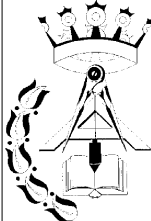




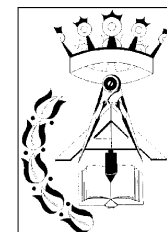
	UNIVERSIDAD DE ALICANTE		
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR		
	LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE		
	ALUMNO:	PLANO:	FECHA: SEPT. 2014
CARMEN SANTOS MAESTRE		ORTOFOTO FACHADA SUR	ESCALA: 1/100
			PLANO N°: 07





	<b>UNIVERSIDAD DE ALICANTE</b>		
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR		
	<b>LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE</b>		
	ALUMNO:	PLANO:	FECHA: <b>SEPT. 2014</b>
<b>CARMEN SANTOS MAESTRE</b>	<b>ORTOFOTO FACHADA OESTE</b>		ESCALA: <b>1/100</b>
			PLANO N°: <b>08</b>





UNIVERSIDAD DE ALICANTE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE

ALUMNO:

CARMEN SANTOS MAESTRE

PLANO:

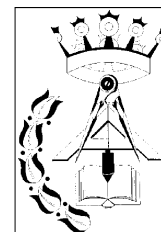
ORTOFOTO SOBRE ALZADO  
FACHADA NORTE

FECHA: SEPT. 2014

ESCALA: 1/100

PLANO N°: 09





UNIVERSIDAD DE ALICANTE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE

ALUMNO:

CARMEN SANTOS MAESTRE

PLANO:

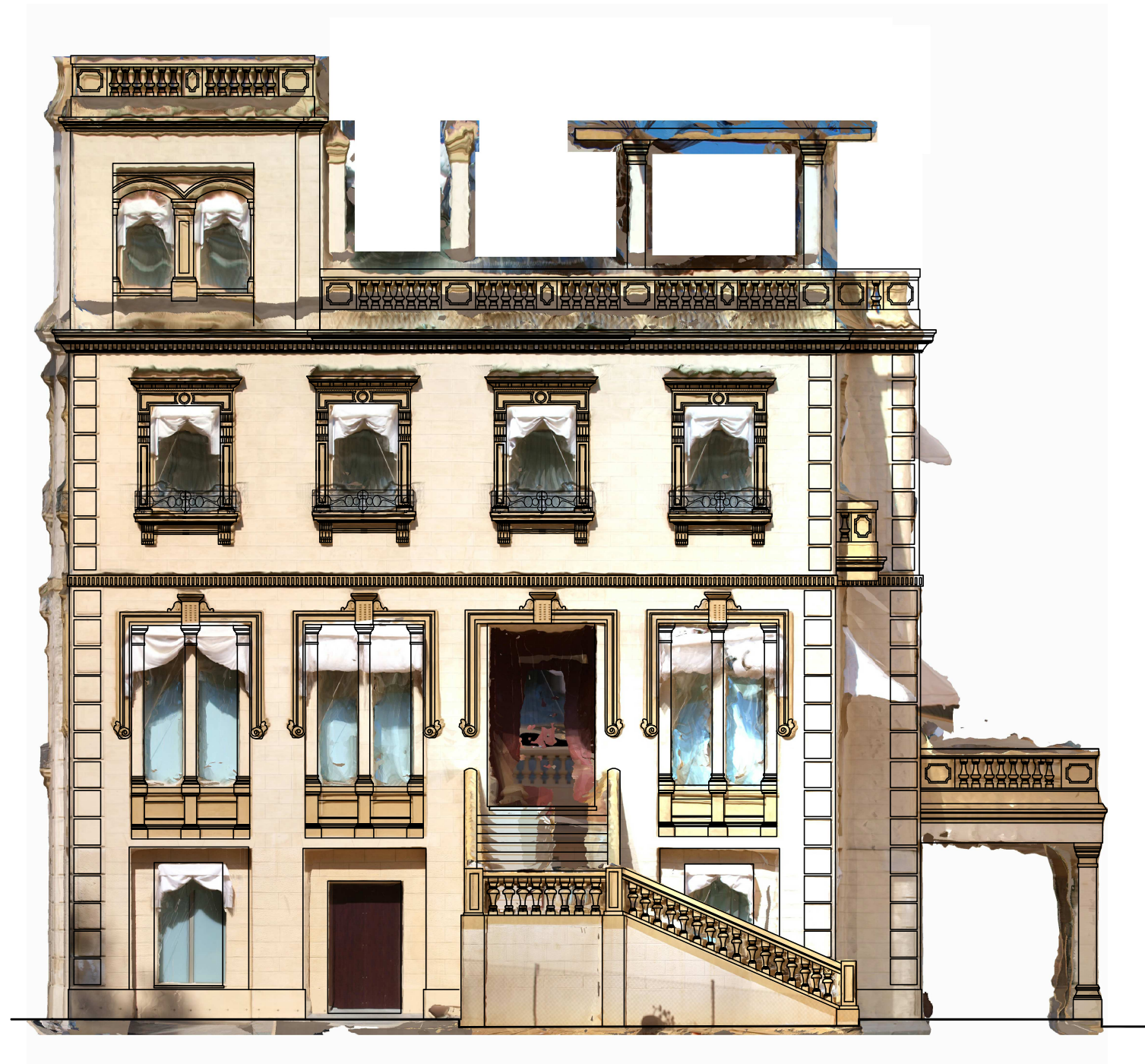
ORTOFOTO SOBRE ALZADO  
FACHADA ESTE

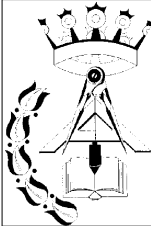
FECHA: SEPT. 2014

ESCALA: 1/100

PLANO N°: 10

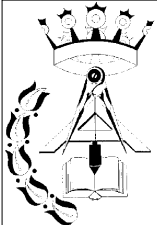


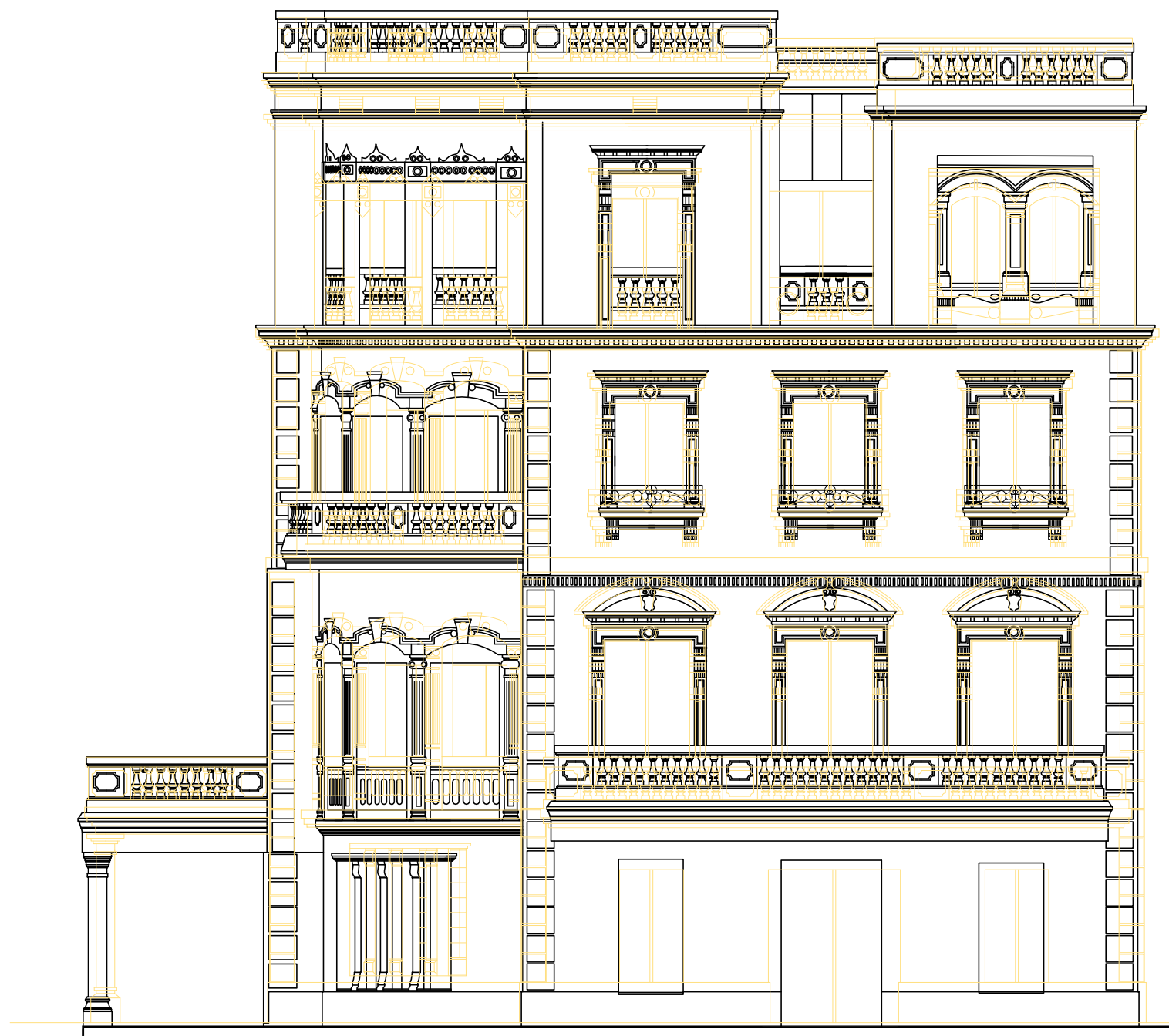


	<b>UNIVERSIDAD DE ALICANTE</b>		
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR		
	<b>LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE</b>		
	ALUMNO:	PLANO:	FECHA: <b>SEPT. 2014</b>
<b>CARMEN SANTOS MAESTRE</b>	<b>ORTOFOTO SOBRE ALZADO FACHADA SUR</b>		ESCALA: <b>1/100</b>
			PLANO N°: <b>11</b>

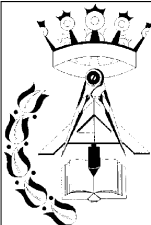




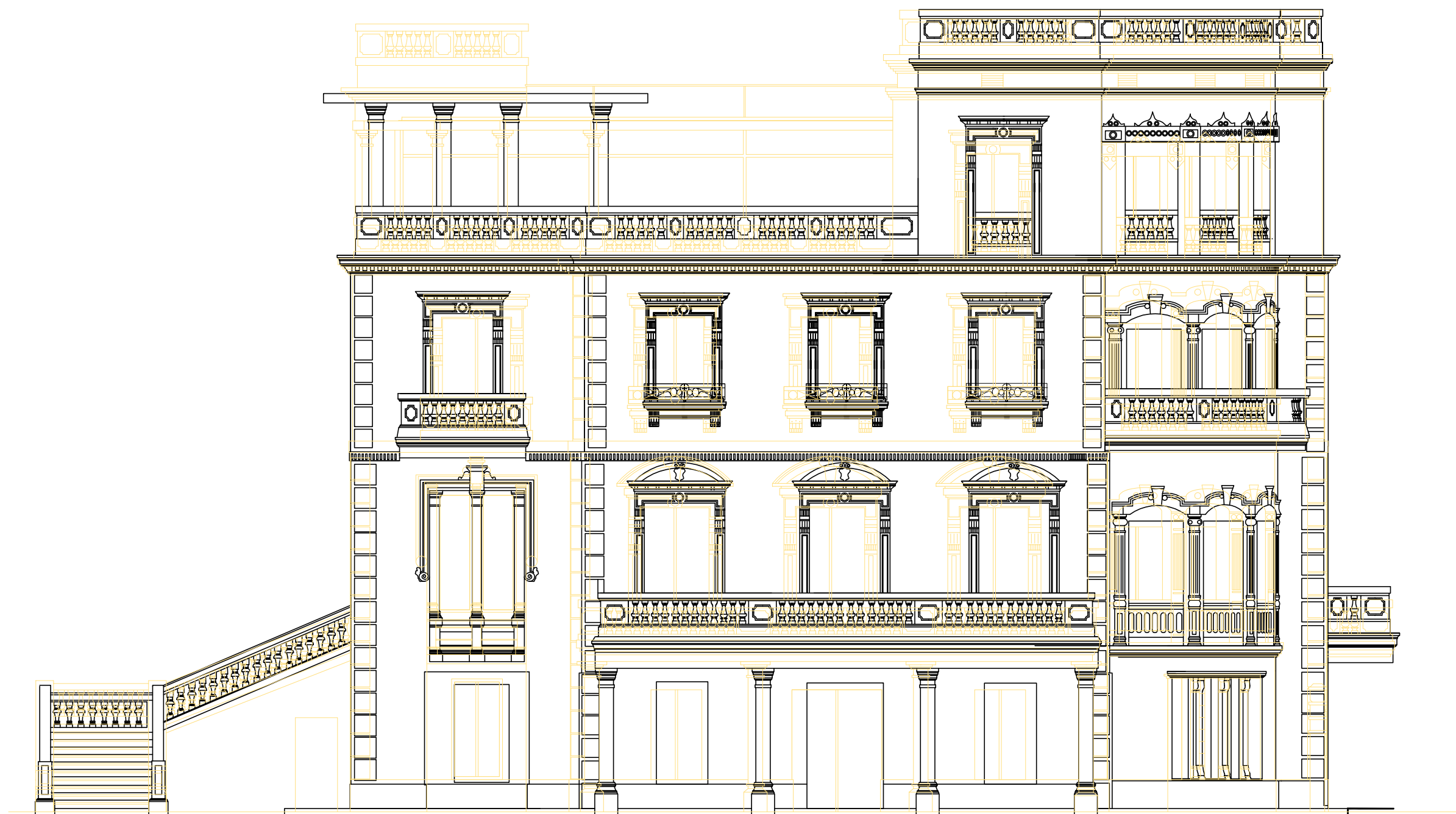
	UNIVERSIDAD DE ALICANTE		
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR		
	LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE		
	ALUMNO:	PLANO:	FECHA: SEPT. 2014
CARMEN SANTOS MAESTRE	ORTOFOTO SOBRE ALZADO FACHADA OESTE		ESCALA: 1/100
			PLANO N°: 12



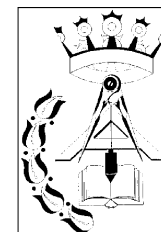
■ PROYECTO DE EJECUCIÓN  
■ LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRÍA

	<b>UNIVERSIDAD DE ALICANTE</b>		
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR		
	<b>LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE</b>		
	ALUMNO:	PLANO:	FECHA: <b>SEPT. 2014</b>
<b>CARMEN SANTOS MAESTRE</b>	<b>COMPARATIVA ALZADO NORTE CON PLANOS PROYECTO</b>		ESCALA: <b>1/100</b>
			PLANO N°: <b>13</b>





- PROYECTO DE EJECUCIÓN
- LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRÍA



UNIVERSIDAD DE ALICANTE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE

ALUMNO:

CARMEN SANTOS MAESTRE

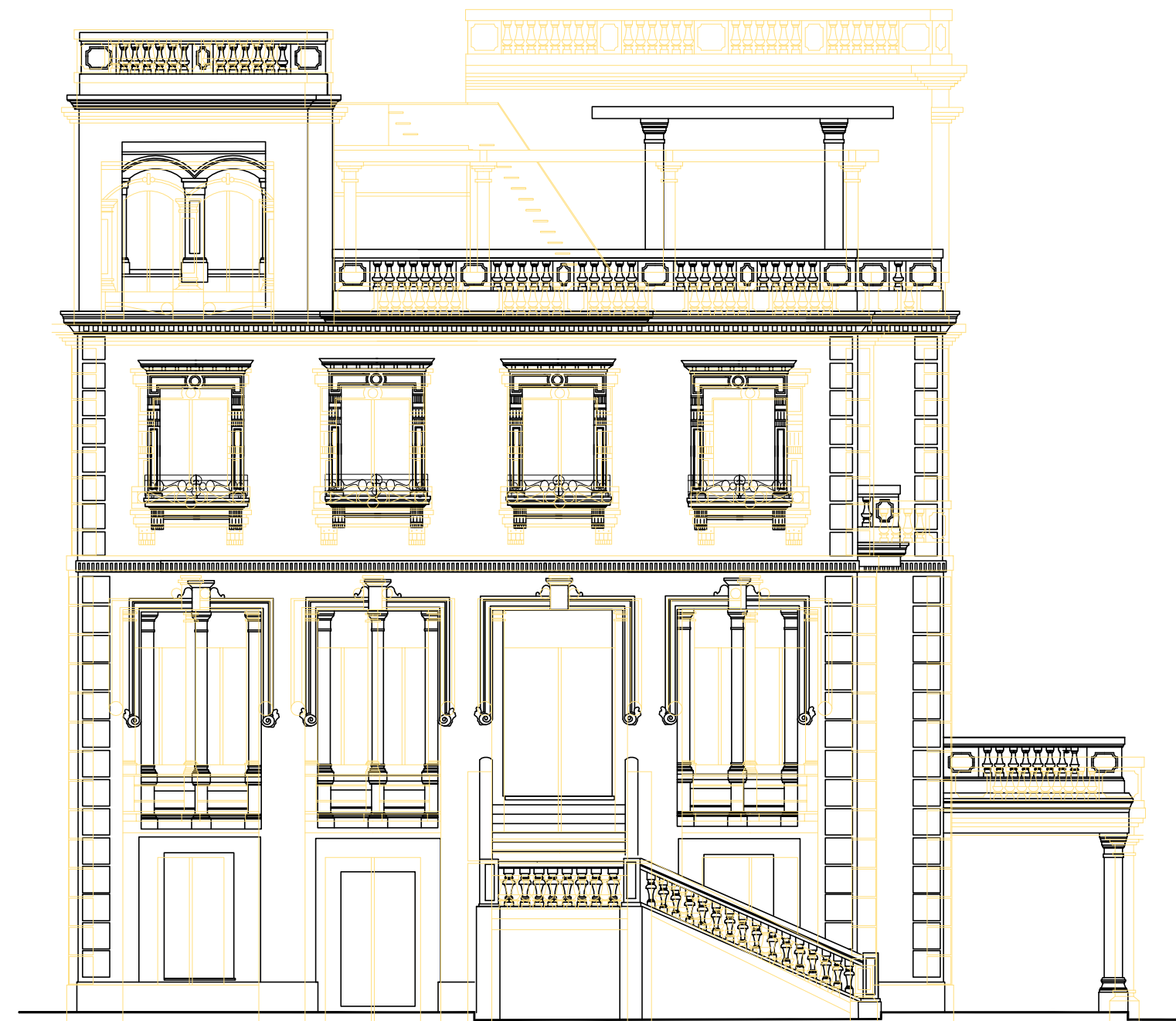
PLANO:

COMPARATIVA ALZADO ESTE  
CON PLANOS PROYECTO

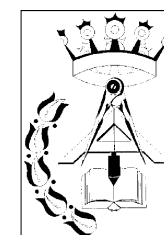
FECHA: SEPT. 2014

ESCALA: 1/100

PLANO N°: 14



■ PROYECTO DE EJECUCIÓN  
■ LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRÍA



**UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE**

ALUMNO:

PLANO:

FECHA: **SEPT. 2014**

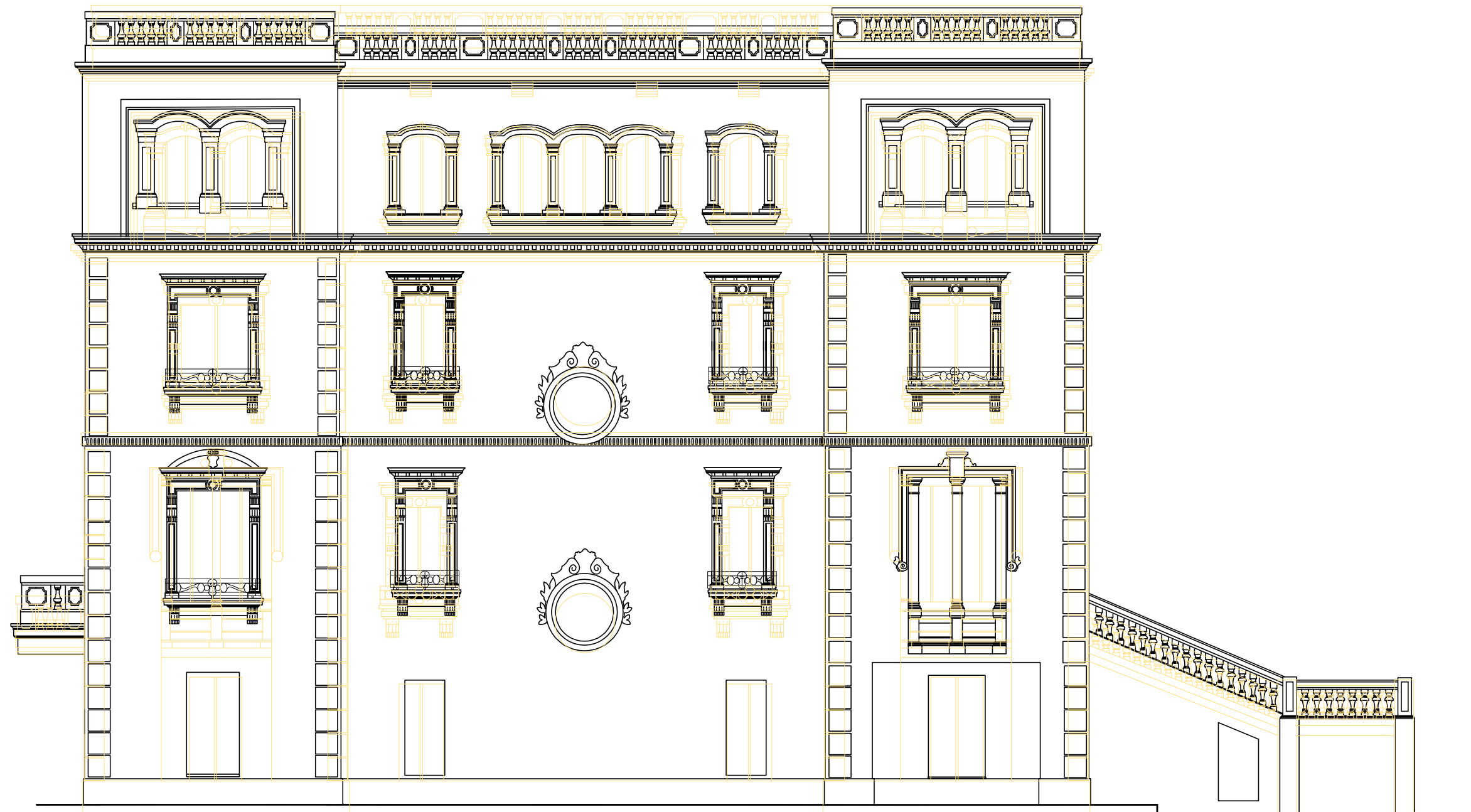
**COMPARATIVA ALZADO SUR  
CON PLANOS PROYECTO**

ESCALA: **1/100**

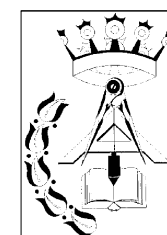
**CARMEN SANTOS MAESTRE**

PLANO N°: **15**





- PROYECTO DE EJECUCIÓN  
■ LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRÍA



**UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE**

ALUMNO:

PLANO:

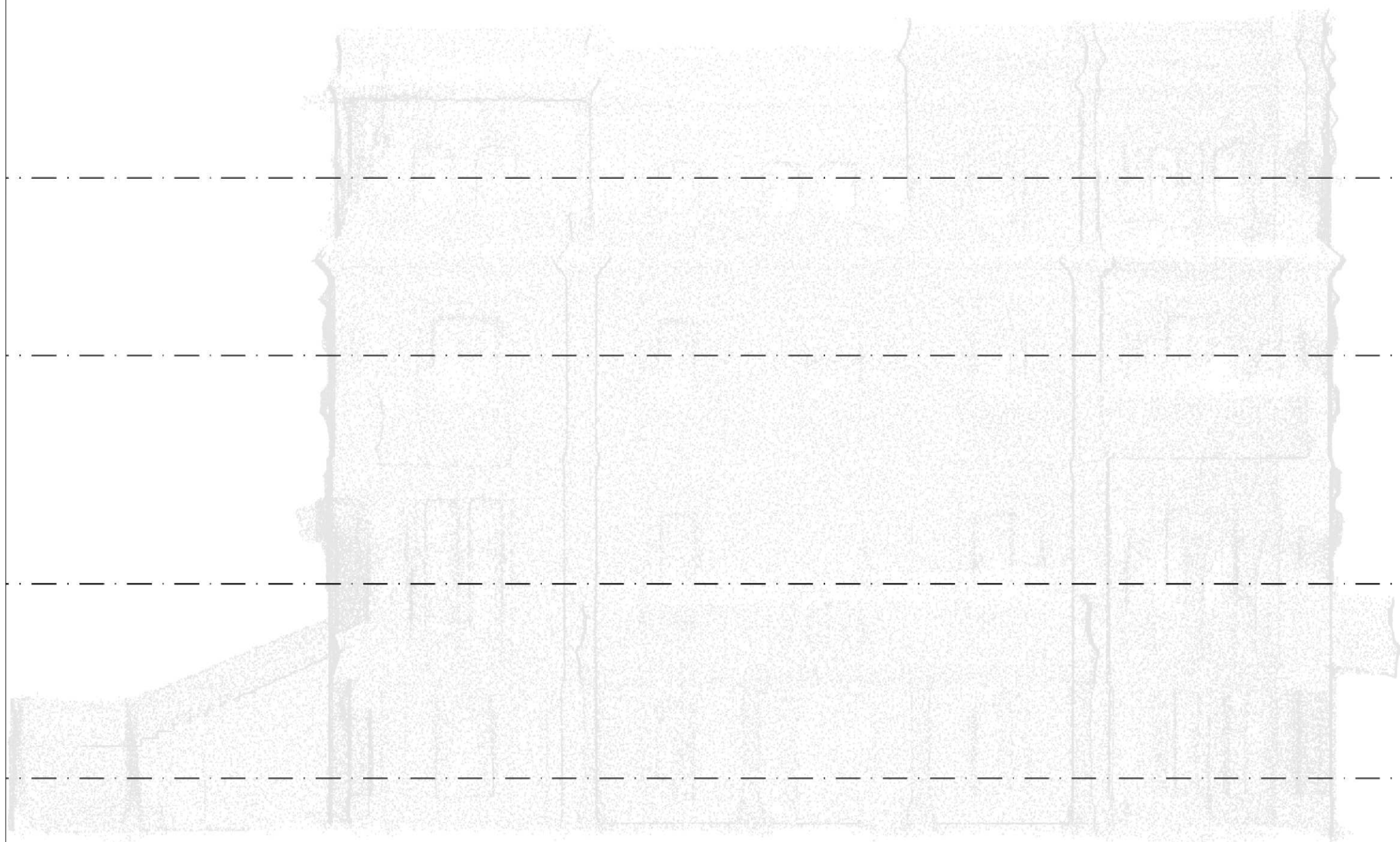
FECHA: **SEPT. 2014**

**COMPARATIVA ALZADO OESTE  
CON PLANOS PROYECTO**

ESCALA: **1/100**

**CARMEN SANTOS MAESTRE**

PLANO N°: **16**

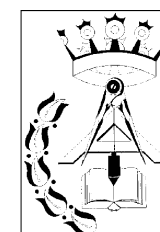


SECCIÓN NUBE P. CUBIERTA

SECCIÓN NUBE P. SEGUNDA

SECCIÓN NUBE P. PRIMERA

SECCIÓN NUBE P. BAJA



**UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE**

ALUMNO:

**CARMEN SANTOS MAESTRE**

PLANO:

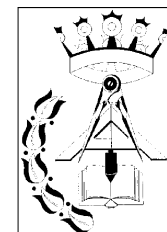
**ESQUEMA SECCIONES PLANTA**

**NUBE DE PUNTOS**

FECHA: **SEPT. 2014**

ESCALA: **1/100**

PLANO N°: **17**



**UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE**

ALUMNO:

**CARMEN SANTOS MAESTRE**

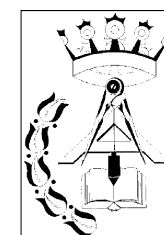
PLANO:

**PLANO PLANTA BAJA PROYECTO  
COMPARATIVA CON NUBE DE PUNTOS**

FECHA: **SEPT. 2014**

ESCALA: **1/100**

PLANO N°: **18**



**UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE**

ALUMNO:

**CARMEN SANTOS MAESTRE**

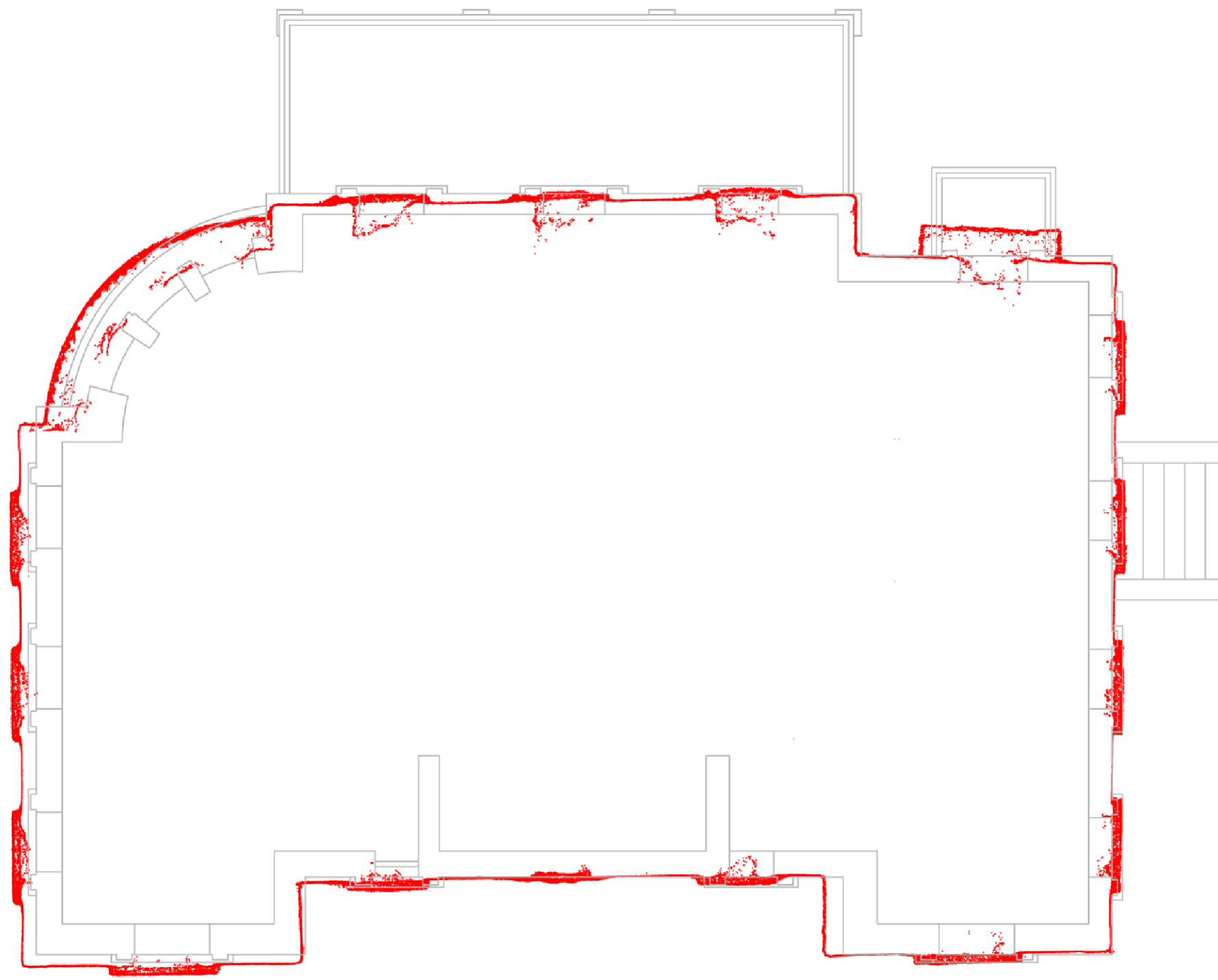
PLANO:

**PLANO PLANTA PRIMERA PROYECTO  
COMPARATIVA CON NUBE DE PUNTOS**

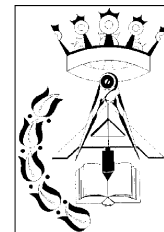
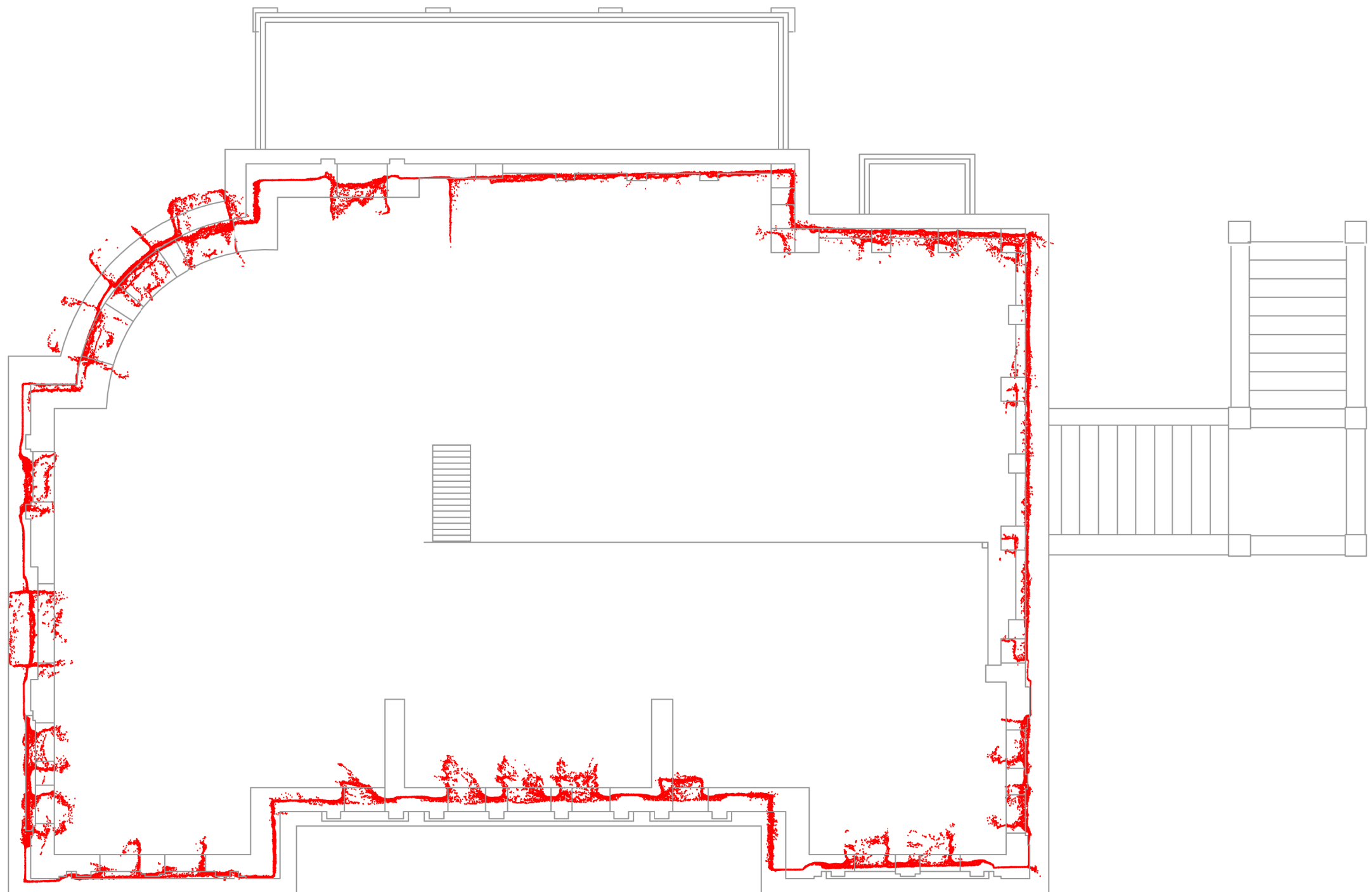
FECHA: **SEPT. 2014**

ESCALA: **1/100**

PLANO N°: **19**



	<b>UNIVERSIDAD DE ALICANTE</b>		
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR		
<b>LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE</b>			
ALUMNO:	PLANO:	FECHA: <b>SEPT. 2014</b>	
		ESCALA: <b>1/100</b>	
		PLANO N°: <b>20</b>	
		<b>CARMEN SANTOS MAESTRE</b>	



**UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE**

ALUMNO:

**CARMEN SANTOS MAESTRE**

PLANO:

**PLANO PLANTA CUBIERTA PROYECTO**

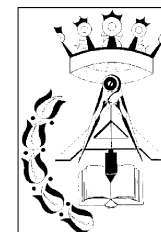
**COMPARATIVA CON NUBE DE PUNTOS**

FECHA: **SEPT. 2014**

ESCALA: **1/100**

PLANO N°: **21**





**UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE**

ALUMNO:

PLANO:

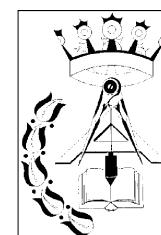
FECHA: **SEPT. 2014**

**VISTAS MODELO 3D**

ESCALA: **SE**

**CARMEN SANTOS MAESTRE**

PLANO N°: **22**



**UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**LEVANTAMIENTO DE FACHADAS DE PALACETE  
PRYTZ SITUADO EN SAN JUAN DE ALICANTE**

ALUMNO:

**CARMEN SANTOS MAESTRE**

PLANO:

**PLANOS PROYECTO FACHADA SUR**

**COMPARATIVA CON NUBE DE PUNTOS**

FECHA: **SEPT. 2014**

ESCALA: **1/100**

PLANO N°: **23**

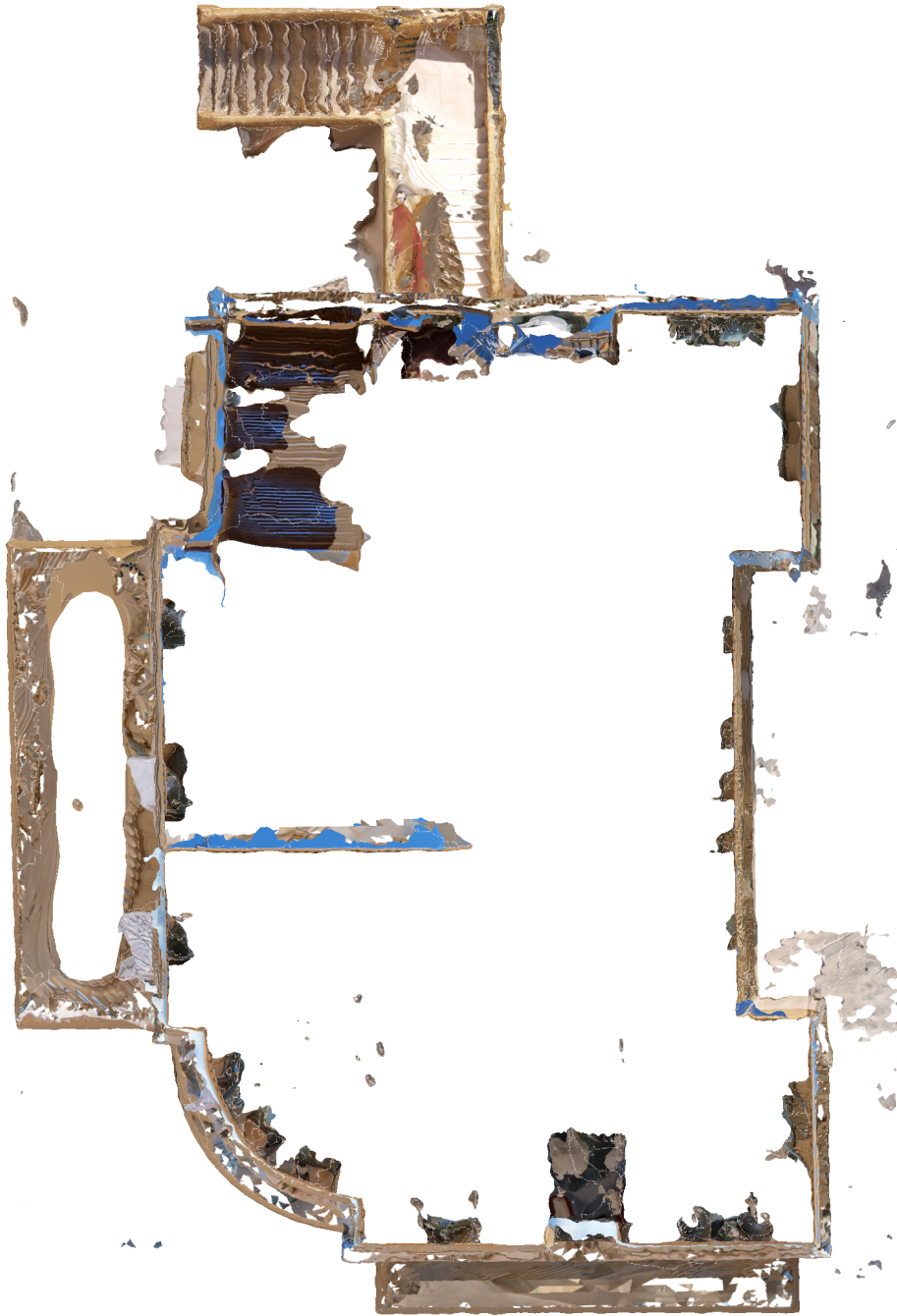




# Agisoft PhotoScan

Processing Report

27 June 2014



# Survey Data

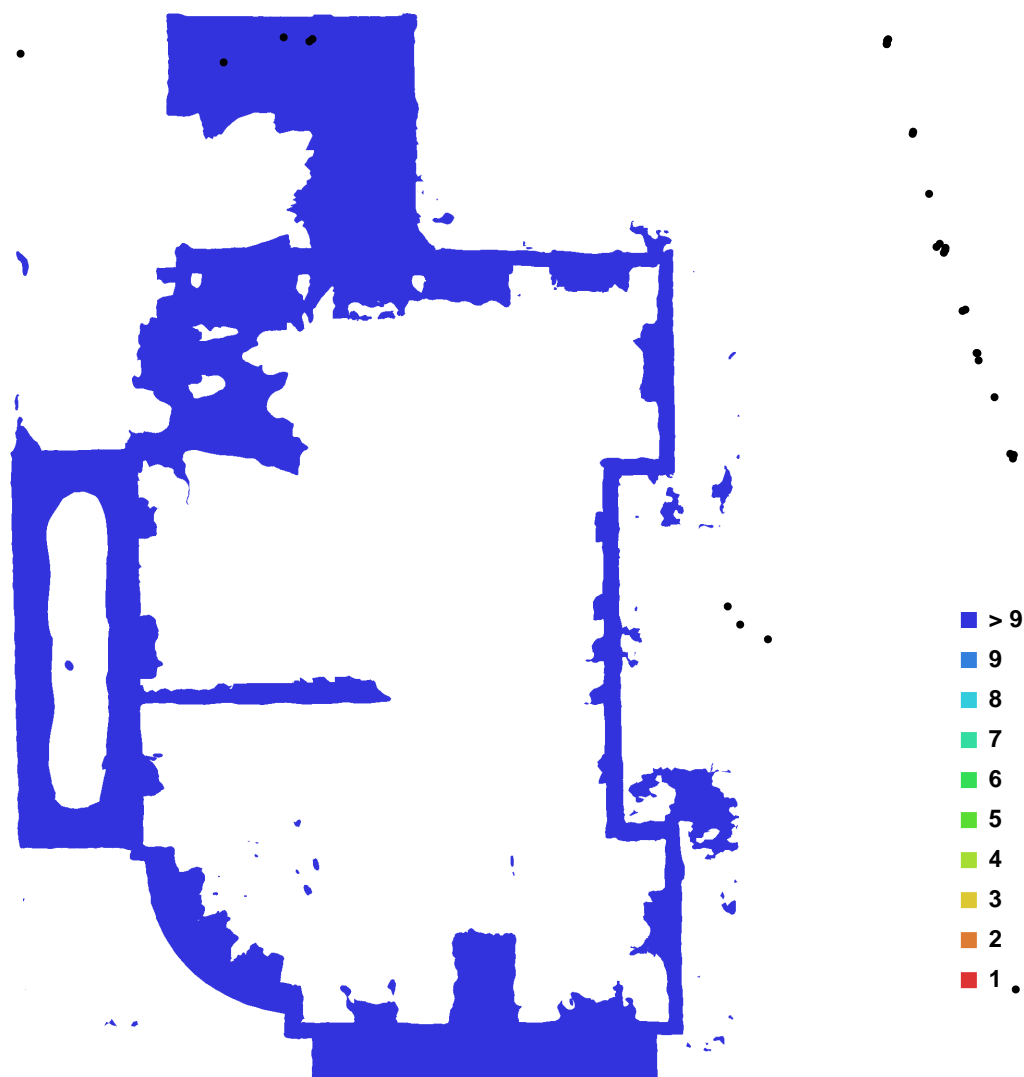


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images: 187

Flying altitude: 15.334 m

Ground resolution: 0.00461271 m/pix

Coverage area: 0.000144792 sq km

Camera stations: 177

Tie-points: 154090

Projections: 441433

Error: 0.861917 pix

Camera Model		Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
E-420	(14 mm)	3648 x 2736	14 mm	unknown	No
E-420	(14 mm)	3648 x 2736	14 mm	unknown	No
E-420	(14 mm)	3648 x 2736	14 mm	unknown	No
E-420	(14 mm)	3648 x 2736	14 mm	unknown	No
E-420	(14 mm)	3648 x 2736	14 mm	unknown	No

Table. 1. Cameras.



# Ground Control Points

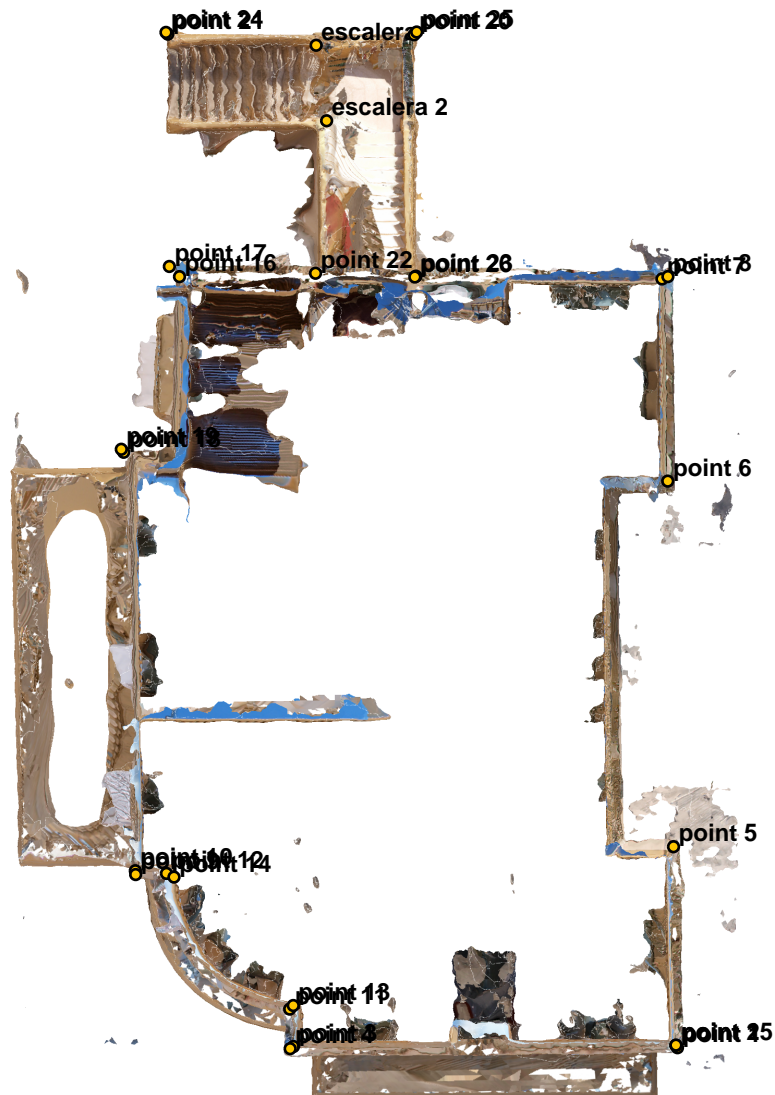


Fig. 2. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
point 15	0.004127	0.008141	-0.019341	0.021386	10	1.534322
point 16	0.113879	0.010124	0.001211	0.114335	24	3.449540
point 2	0.006907	0.015183	0.019389	0.025576	39	2.941009
<b>Total</b>	<b>0.065912</b>	<b>0.011537</b>	<b>0.015827</b>	<b>0.068760</b>	<b>73</b>	<b>2.975832</b>

Table. 2. Control points.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
escalera					5	6.421970
escalera 2					7	4.632137
point 1					23	1.493235

<b>Label</b>	<b>X error (m)</b>	<b>Y error (m)</b>	<b>Z error (m)</b>	<b>Error (m)</b>	<b>Projections</b>	<b>Error (pix)</b>
point 10					26	7.583582
point 11					8	1.202276
point 12					8	1.671043
point 13					5	1.372728
point 14					5	2.869590
point 17					30	1.578653
point 18					17	39.492711
point 19					17	2.778534
point 20					13	4.661158
point 21					10	3.426634
point 22					3	2.514802
point 23					3	0.565526
point 24					9	4.992752
point 25					7	1.782726
point 26					15	0.995313
point 3					23	1.672987
point 4					19	4.773309
point 5					38	4.550249
point 6					27	10.498150
point 7					26	26.331994
point 8					24	5.013230
point 9					23	6.823770
<b>Total</b>						

Table. 3. Check points.

# Digital Elevation Model

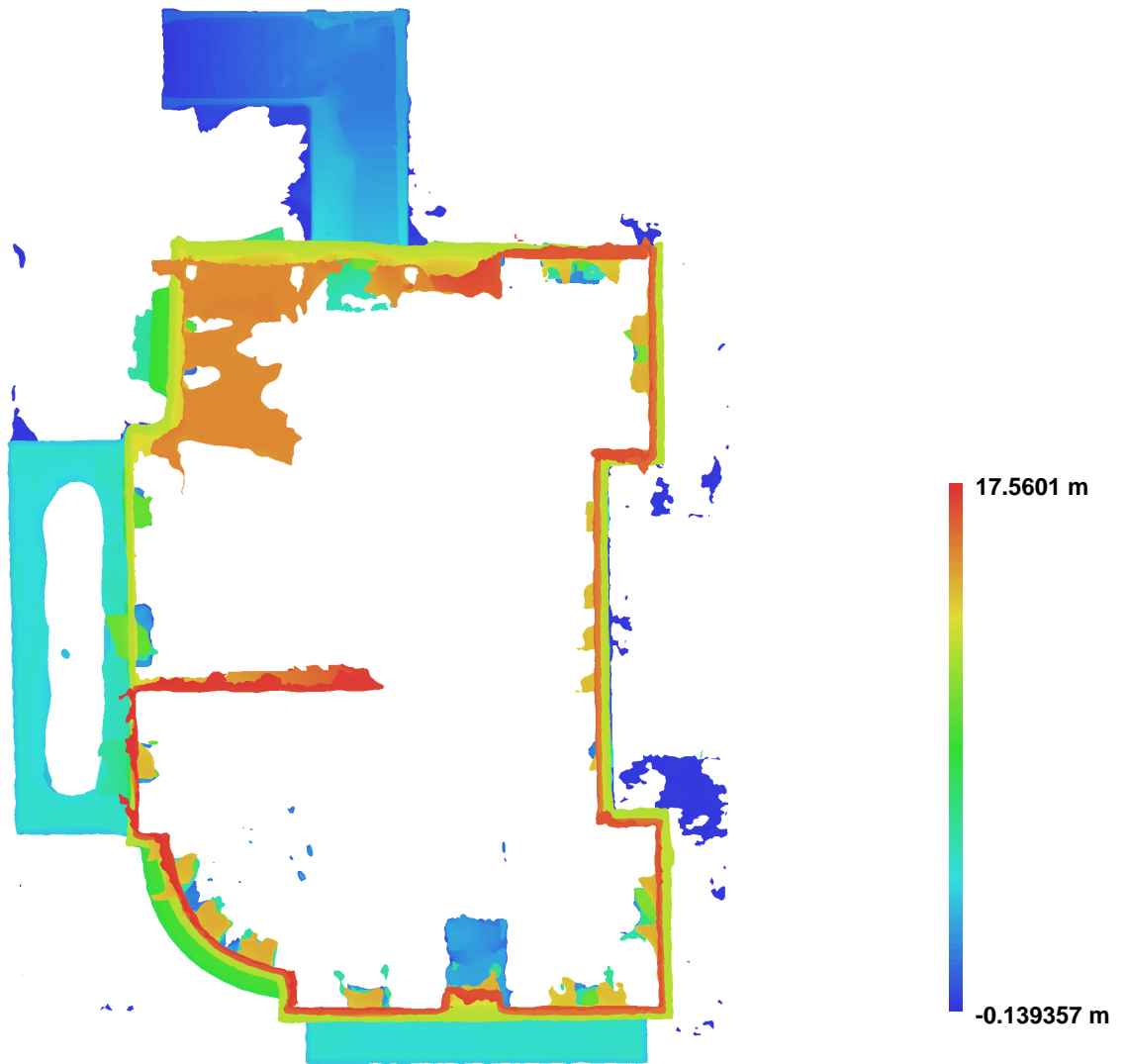


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 0.0184508 m/pix  
Point density: 2937.44 points per sq m